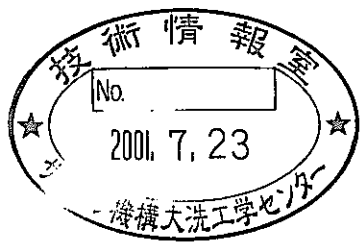
JNC TJ9400 2001-013

FBRサイクルの多面的評価手法の改良

(核燃料サイクル開発機構　研究委託内容報告書)

２００１年２月



株式会社三菱総合研究所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184　茨城県那珂郡東海村村松４番地４９
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :
Technical Cooperation Section.
Technology Management Division.
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaragi 319-1194, Japan

© 核燃料サイクル開発機構　(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

JNC TJ9400 2001-013
２００１年　２月

FBRサイクルの多面的評価手法の改良
(核燃料サイクル開発機構　研究委託内容報告書)

芝剛史※、実島哲也※、湯山智教※、鈴木敦士※

要　旨

本研究では、昨年度に行ったFBR実用化サイクルの評価視点に対する多面的な比較評価を定量的、かつ客観的に行うためのシステムに関する改良を行った。具体的には、システム構築に関しては、ＶＢＡによる多面的評価システムを構築・改良し、効用関数設定、多属性効用分析、一対評価、などをコンピューター上で容易に行えるようにした。また、システムに関する機能として、設計データの不確実性への対応のための機能、FBRの潜在力の評価機能、AHPの弱点を克服するための絶対評価法の追加、などを追加した。

その他にFBRサイクルの評価構造に関して、小型炉との比較を行う際の概念構築、また社会的受容性という観点を評価構造に盛り込む際の概念、などを検討した。特に社会的受容性という観点はFBR導入の際に欠かせない視点であるものの、昨年度までの視点には盛り込まれていなかった視点である。今年度の検討では、この社会的受容性という視点をFBRサイクルの評価の際にも、評価視点として盛り込むことは重要であるとの認識を示し、フェーズ２において社会的受容性を評価構造に盛り込むための視点案を挙げることができた。

以上のシステム改良により昨年度よりもFBRサイクル評価の仕組みが更に整ってきたものと思われる。

本報告書は、株式会社三菱総合研究所が核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究の成果である。

機構担当部課室：
大洗工学センター　システム技術開発部　ＦＢＲサイクル解析Gr

※　株式会社三菱総合研究所　産業・市場戦略研究本部　産業基盤研究部

JNC TJ9400 2001-013
February, 2001

Improvement of FBR multi-sided comparison system

Tsuyoshi Shiba※,Tetsuya Mishima※,
Tomonori Yuyama※, Atsushi Suzuki※

Abstract

In this study, the general assessment system developed last year was improved so that we could perform multi-sided comparison and evaluation between FBR cycle reactor models quantitatively and objectively. At first, we developed multi-sided evaluation system written in VBA. And then many processes (calculation of coefficients for utility functions, analysis by MUF, and pair comparison, etc.) could be performed on a Personal Computer with simple operation. And the following functions were also added in the system; consideration of uncertainty in design data on evaluated results, estimation of the potential of FBR, the absolute evaluation method to get over the weakness of AHP, and so on.

Moreover, a concept of comparison with compact reactors and the way of including a new evaluation item, public acceptance, in the evaluation structure are discussed. Although it is important to consider public acceptance for introduction of FBR, it was not included in the assessment structure of the previous study. In this study, we pointed out that public acceptance as a new assessment item of the FBR cycles evaluation system should be included. Ideas to include the item in the system in phase 2 were also discussed.

Due to the improvement of the system in this study, we believe that the FBR cycle's evaluation system is becoming more sophisticated than the previous version.

Work performed by Mitsubishi Research Institute, Inc., under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute

JNC Liaison: FBR Cycle Analysis Group, Technology Management Division,
O-Arai Engineering Center

※ Industrial Structure Research Department, Mitsubishi Research Institute, Inc.

目　次

1. はじめに 1
1.1 目的 1
1.2 本研究の範囲及び内容 1
1.3 本研究のフロー 3
1.4 研究結果の概要 4
2. プロトタイプシステムの改良 5
3. 各評価視点に関する評価構造の検討 6
3.1 評価視点の因子分析、効用関数設定、属性影響度の検討 6
3.1.1 評価視点 8
3.1.2 経済性 8
3.1.3 資源有効利用性 9
3.1.4 環境負荷低減性 10
3.1.5 核拡散抵抗性 10
3.1.6 安全性 10
3.1.7 技術的実現性 11
3.1.8 まとめ 12
3.2 小型炉の評価因子の検討 13
3.2.1 小型炉の用途 14
3.2.2 他電源導入事例 18
3.2.3 小型炉評価指標の検討 21
3.2.4 一般化できない用途について 28
3.2.5 離島・僻地での利用を対象とした評価指標構造 28
3.3 社会的受容性の評価因子の検討 34
3.3.1 FBR の社会的受容性とは何か 34
3.3.2 原子力の社会的受容に関する議論の現状 35
3.3.3 評価構造への取り込み方 47
3.3.4 社会的受容性取り込みの具体案 53
3.3.5 FBR の受容を求める対象の関心のある視点の検討 55
3.3.6 社会的受容性の取り込み方に関するまとめ 56
4. 評価視点の重要度評価の実施 58
4.1 重要度評価の手法 58
4.2 複数の評価者による重要度評価 60

5. 機能追加に関する検討 64
5.1 設計情報の不確かさに対する対応方法..... 64
5.1.1 設計情報の幅（分布状況）が設定できる場合..... 64
5.1.2 設計情報の幅がまったく設定できない場合..... 65
5.2 潜在的能力（可能性）を評価..... 66
5.2.1 純粋なる潜在力の評価..... 66
5.2.2 実現確率を利用した潜在力評価..... 66
5.3 ＡＨＰの拡張に関する検討..... 67
5.3.1 従来型ＡＨＰに関する問題点..... 67
5.3.2 各評価視点のウエイト決定法の改良..... 67
5.3.3 定量化不可能な指標についての評価法の改良..... 68
6. FBRサイクルシステムに対する予備評価の実施..... 69
6.1 利用データ 69
6.2 計算の前提条件..... 69
6.3 計算結果 72
参考文献 74

＜参考資料＞
多面的評価システム・説明書

図　目次

図 1-1　本研究のフロー 3
図 3-1　今年度に検討を行う評価構造 7
図 3-2　開発投資と他指標のトレードオフの概念 12
図 3-3　小型炉評価指標調査フロー 13
図 3-4　「簡便性」の指標構造例 21
図 3-5　「品質」の指標構造例 22
図 3-6　経済性の指標構造例 23
図 3-7　資源有効利用の評価指標構造例 24
図 3-8　一般化した「資源性」の評価指標構造例 25
図 3-9　核拡散抵抗性の評価指標構造例 26
図 3-10　離島・僻地で利用する小型炉評価指標（経済性） 28
図 3-11　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（資源有効利用①） 29
図 3-12　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（資源有効利用②） 30
図 3-13　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（核拡散抵抗性） 30
図 3-14　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（環境負荷低減） 31
図 3-15　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（安全性） 32
図 3-16　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（簡便性） 33
図 3-17　電力品質に関する指標構造 33
図 3-18　受容に至る構図の概念 43
図 3-19　事実が理解困難な場合の受容プロセス 45
図 3-20　住民参加、コミュニケーションの取り込み方イメージ 49
図 3-21　社会的受容性の取り込みイメージ（２） 50
図 3-22　社会的受容性の取り込みイメージ（３） 51
図 4-1　直接評価法のアンケート票（平成 11 年度報告書より再掲） 58
図 4-2　一対比較のアンケート票（平成 11 年度報告書より再掲） 59
図 4-3　最有利法の説明図 62
図 5-1　設計情報の幅と効用値・多面的評価値への影響のイメージ 65
図 6-1　多面的評価値の暫定値 73

表　目次

表 3-1　安全性の評価指標 11
表 3-2　コージェネシステムとして使用される電源の特徴 15
表 3-3　小型炉評価をする際の用途と求められる性能 17
表 3-4　抽出された性能・特徴 17
表 3-5　他電源導入事例から抽出された導入目的 20
表 3-6　温度領域と熱の利用目的 22
表 3-7 JCO事故周辺生活影響調査結果からの抜粋（1） 37
表 3-8　東海村実施「防災とまちづくり」アンケート結果より抜粋..... 38
表 3-9　原子力社会的受容とリスクコミュニケーションに関する研究例..... 39
表 3-10　原子力社会的受容と心理的要因に関する研究例 40
表 3-11 原子力発電が必要である理由 41
表 3-12　原子力発電が必要でない理由 41
表 3-13　米国における原子力世論調査例 42
表 3-14　自分の地域への原子力建設の是非に関する調査結果..... 43
表 3-15　原子力発電立地が国民や地域住民の合意を得て円滑に推進されるための方策 46
表 3-16　住民参加、コミュニケーションの取り込み方例 49
表 4-1 候補A,Bに与えられた視点1，2に関する得点（最有利法・最不利法説明） 61
表 4-2　重み付け例（最有利法・最不利法説明） 61
表 4-3　複数評価者による重み付け手法の弱点 63
表 5-1　従来型ＡＨＰ実施時の問題点として指摘されている点..... 67
表 6-1　計算の前提条件 69
表 6-2　ＦＢＲサイクルの技術タイプ（1） 70
表 6-3　ＦＢＲサイクルの技術タイプ（2） 71
表 6-4　各視点を示す設計データ 71
表 6-5　多面的評価値の暫定値 72

1. はじめに

1.1 目的

核燃料サイクル開発機構（以下機構）が行うFBRサイクル実用化戦略調査研究において、FBRサイクルシステムに対する評価を様々な視点（経済性、資源有効利用性、安全性、環境負荷低減性など）から多面的、定量的、かつ客観的に行うためのシステムに関する検討を平成11年度に実施し、そのプロトタイプを作成した。本研究は、前年度に開発したプロトタイプシステムを運用するために、評価指標の影響度や効用関数の設定値などに関する調査及び検討を行い、改良項目をプロトタイプシステムに反映するものである。

1.2 本研究の範囲及び内容

本研究の範囲及び内容は以下のとおりである。

（1） プロトタイプシステムの改良

前年度作成した多面的評価システムのプロトタイプを改良して、実用化戦略調査研究に適用可能なシステムを作成する。作成条件は以下の通りとする。

＜作成条件＞
- 評価のために設定する各種設定項目及び値の変更に対応。
- 評価指標及びその因子分解による評価構造を入力情報とし、任意の評価構造を設定できるように対応。
- 本システムへの入力情報と計算結果を、一括して管理可能なデータベース的機能を付加すること。（データベースソフトAccess2000によるFBRサイクル技術情報データベースとの連携を考慮すること）
- 本システムはWINDOWS98上で稼働可能とする。
- ソースコードも電子情報として添付する。
- 機構での機能追加が可能なようにプログラムの取扱説明書とともに、計算のフローや変数を示したプログラム内容説明書を作成する。

（2） 多面的評価システムの評価構造の検討

前年度に設定した以下の項目について、設定値の見直しを行う。

1）評価視点の因子分析、効用関数設定、属性影響度の検討
作成された運用システムに用いる各評価視点の因子分析による階層構造、効用関数設定、

属性影響度を検討した機構内原案について、課題などを摘出するとともに、見直し（案）及びその考え方を提示する。

2）小型炉の評価因子の検討

前年度は対象としていなかった小型高速炉の評価として、離島や遠隔地などでの局所的電源供給や海水の淡水化など、基幹電源とは異なる観点からの評価項目に関する調査を実施し、小型炉の用途に適用し得る評価因子の検討を行う。

3）社会的受容性の評価因子の検討

技術的因子に直結しない社会的受容性などの項目に関する評価方法の検討を行う。

（3） 評価視点の重要度評価の実施

評価視点の重要度について、アンケートによる意見集約や集団合意形成手法などによる情報収集及び分析方法について検討する。また、選定した方法を用いて、機構内部及び外部において評価視点の重要度評価方法の検討を行う。

さらに、多数意見に対する統計的データを本評価システムへ組み込む際に生じる課題を検討するとともに、評価システムの運用における評価視点の重要度を設定する。

（4） 評価システムの機能追加に関する検討

前年度に開発した評価システムに以下の機能を追加する。

1）設計情報の不確かさに対する対応と評価結果への反映に関する考え方の追加。
2）評価対象である FBR サイクルシステムの潜在的能力（可能性）を評価の観点に盛り込む考え方の追加。
3）定性的属性での相対的点数評価の絶対的点数評価への換算法の検討。

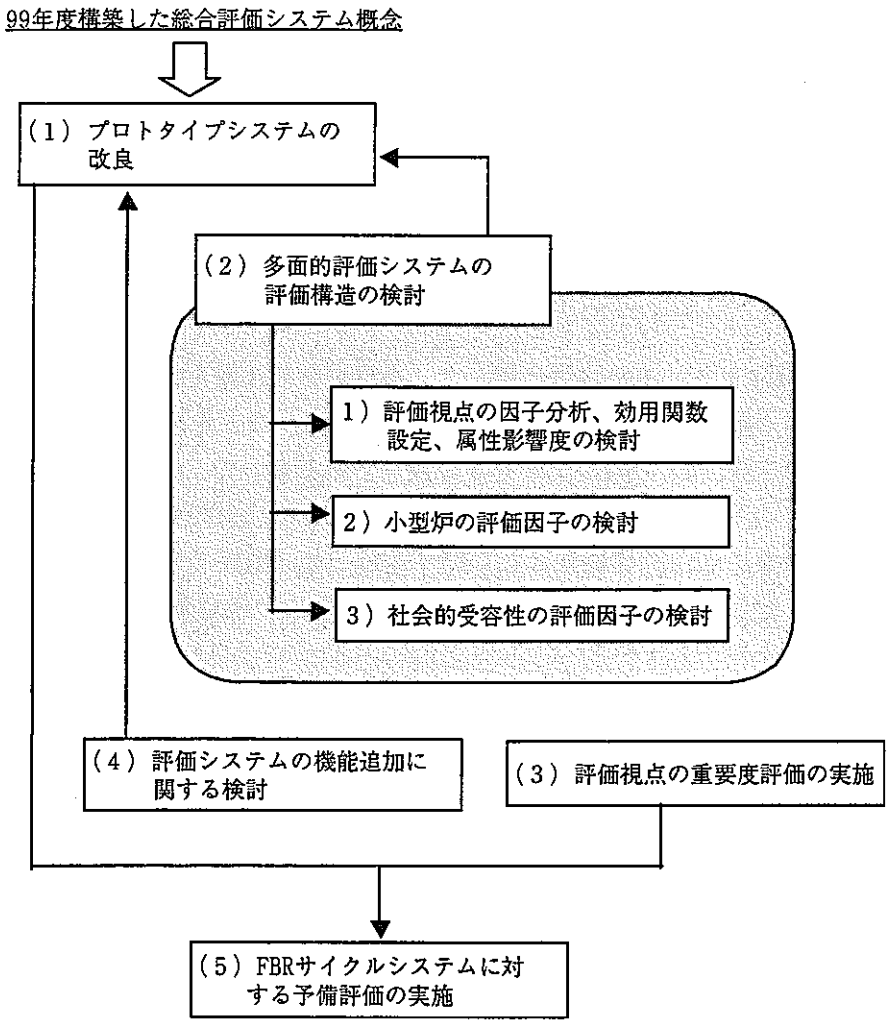
（5） FBR サイクルシステムに対する予備評価の実施

機構が提示する FBR サイクルシステムについて、機構で作成された各種設定値に基づいて予備評価を実施する。

1.3 本研究のフロー

本研究のフローは以下の通りである。

図 1-1　本研究のフロー



1.4 研究結果の概要

本研究では、昨年度に行った FBR 実用化サイクルの評価視点に対する多面的な比較評価を定量的、かつ客観的に行うためのシステムに関する改良を行った。具体的には、システム構築に関する項目として

・ＶＢＡによる多面的評価
・効用関数設定プログラムの構築
・多属性効用分析
・一対評価実施プログラム（相対評価、絶対評価）
・結果のグラフ表示（棒グラフ、レーダーチャート方式）

などをコンピューター上で容易に行えるようにした。また、システムに関する機能として、設計データの不確実性への対応のための機能、FBR の潜在力の評価機能、AHP（階層化意思決定法）の弱点を克服するための絶対評価法の追加、などを追加した。

その他に FBR サイクルの評価構造に関して、小型炉との比較を行う際の概念構築、また社会的受容性という観点を評価構造に盛り込む際の概念、などを検討した。特に社会的受容性という観点は FBR 導入の際に欠かせない視点であるものの、昨年度までの視点には盛り込まれていなかった視点である。今回の検討では、この社会的受容性という視点を FBR サイクルの評価の際にも、評価視点として盛り込むことは重要であるとの認識を示し、フェーズ２において社会的受容性を評価構造に盛り込むための視点案を挙げることができた。

以上のシステム改良により昨年度よりも FBR サイクル評価の仕組みが更に整ってきたものと思われる。

2. プロトタイプシステムの改良

昨年度に構築したＦＢＲ総合評価システムの概念にもとづき、ACCESS VBA によりプロトタイプシステムを改良した。構築した多面的評価システムの概要は以下の通りである（システム自体は別途、電子媒体として提出)。

なお、構築したシステムの使用方法他の詳細な内容については「参考資料①：多面的評価システム・マニュアル」を参考のこと。

＜多面的評価システムの概要＞

- 評価項目の各種設定項目及び値の変更可能。
- 任意の評価構造を設定可能。
- 入力情報データベースは、多面的評価システムとは別に作成し、そのデータベースからデータを引き出して評価するシステムとなっている。
- 効用関数の関数形をいくつかの形式で設定可能。
- 効用関数は３点（効用１、0.5、0）を入力すれば収束計算されるプログラムを内蔵。
- ＡＨＰもシステム上で実施可能。
- 計算結果のデータのグラフ表示化等も可能。
- 評価構造、評価結果の保存・データベース化が可能
- 未設定の評価項目を評価ツリー上で分かりやすく表示
- 設計値の不確実性などに対応して、多面的評価値の上位推計値、下位推計値の算出が可能
- ＡＨＰの発展形として絶対評価形式による評価方法が追加

3. 各評価視点に関する評価構造の検討

3.1 評価視点の因子分析、効用関数設定、属性影響度の検討

平成 11 年度において試験的に設定された評価構造は平成 11 年度報告書（参考文献[2]）に示す通りである[1]が、今年度は改良が加えられ、機構原案で図 3-1のようになった。主要な変更点としては、

・核拡散抵抗性を示す指標がチェックリスト方式に変更された点
・資源有効利用を示す指標がウラン累積需要量などのデータに変更された点
・環境負荷低減を示す指標が大幅に変更された点

が挙げられる。

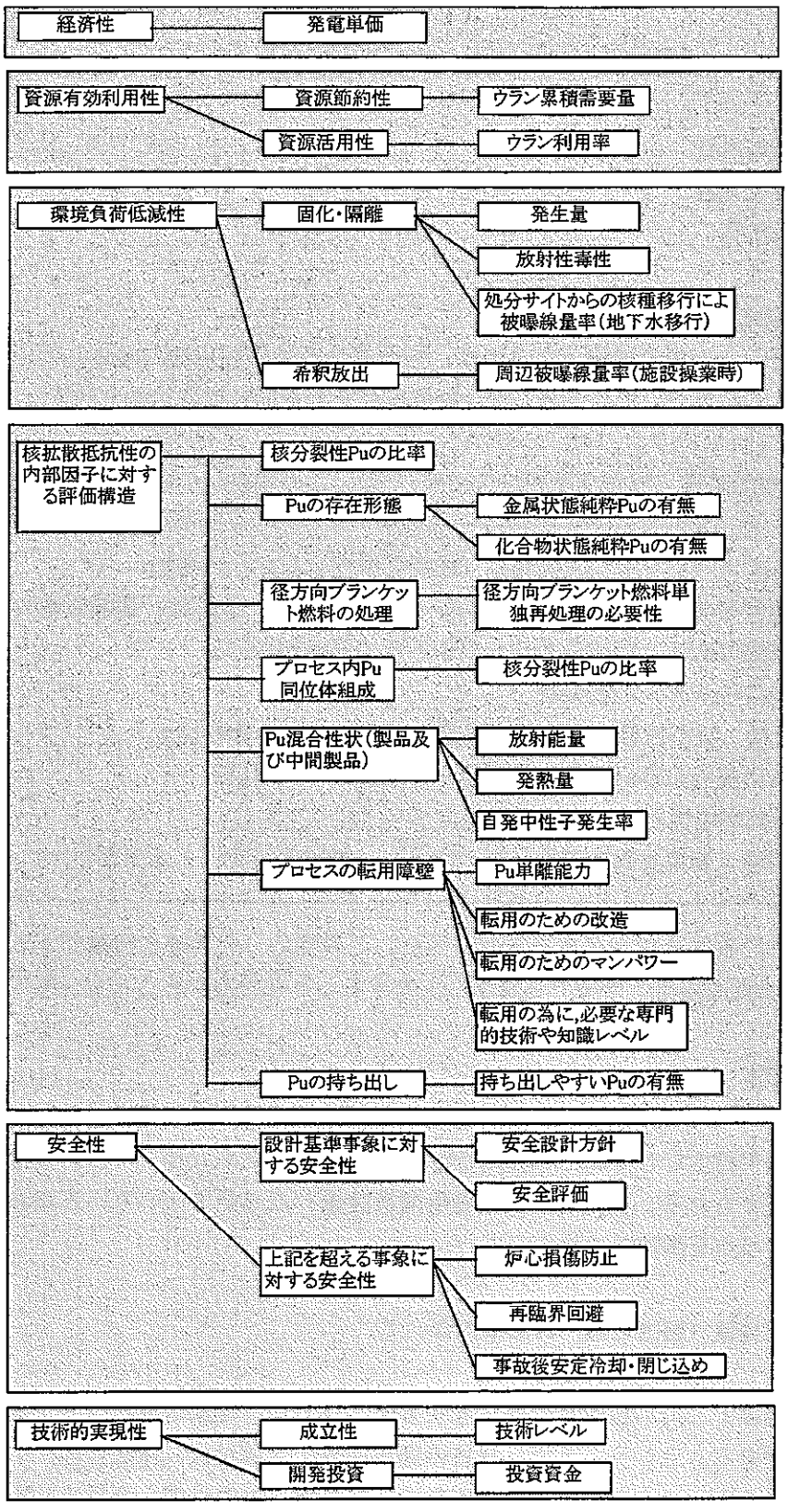
以下、機構側の原案にある

・階層構造
・効用関数設定
・属性影響度

について検討する。なお、検討の便宜上、まず評価視点について全体的に検討した上で、階層の評価視点別に検討を加えることとする。

[1] 以下、平成 11 年度に設定された構造については参考文献[2]を参照。

図 3-1　今年度に検討を行う評価構造



3.1.1 評価視点

評価視点として挙げられているのは、前年度と同様に
①経済性
②資源有効利用性
③環境負荷低減性
④核拡散抵抗性
⑤安全性
⑥技術的実現性
の６つである。この中で問題となるのは、社会的受容性が明示的に含まれていないという点であるが、これについては今後、社会的受容性を明示的に取り込む方向で3.3で検討する。

平成11年度報告書（参考文献[2]）においては、この視点について

> ① プラスイメージをもつ評価視点（技術発展性、など）の追加
> →現状のままであるとＦＢＲそのそもが核拡散性、危険性、環境負荷の可能性のある電源であるとの印象を与えやすいとの懸念から
> ② 評価視点のレベルの再検討
> →安全性・核不拡散・環境負荷軽減をまとめて安心性の視点へ
> （同様の視点が多いと重みに影響を与えることに起因）
> →技術的実現性と経済性も同じ視点へ
> （経済性、資源有効利用性、安心性の３つの視点比較による簡単化）

という方向性で検討を行うべきあると述べた。この点は、引き続き指摘できる点ではあるが、「3.3 社会的受容性」を盛り込む際に工夫することで対応することも一案である。

3.1.2 経済性

経済性を示す指標としては、「発電単価」のみである。これについては、基本的には問題ないものと考えられる。満足度設定（効用関数設定）についてはいろいろな考え方があるものの、以下の点を指摘しておく。

（1）最大満足値（努力目標）の水準について

ＦＢＲの電源としての位置付けから考えると、ひとつは軽水炉用のウラン枯渇への備えという側面がある。ということは、現在の効用関数では満足値（達成目標）を将来ＬＷＲ相当としているが、より高い目標値である最大満足値（努力目標）を将来ＬＷＲ相当とし

ても良いのではないかと考えられる。その理由は、ウランが枯渇するしないにかかわらず、軽水炉並の経済性を獲得できれば軽水炉はＦＢＲに代替されていくだろう（資源有効利用の観点から）と考えられ、だとすれば、技術的努力目標としては軽水炉並で十分であるからである。

（2）満足値の水準について

また、ウランが仮に枯渇した場合、ＦＢＲの競争相手となりうるのは経済性・資源量からみてＬＮＧではなく石炭火力である可能性が高い。となると、ウランが枯渇した場合でも最低でも石炭火力相当の経済性は必要であることになり、最低満足値はＬＮＧ火力ではなく石炭火力相当とすることも考えられる。

3.1.3 資源有効利用性

資源有効利用性という評価視点は、資源節約性と資源活用性という階層構造へと変更され、それぞれウラン累積需要量、ウラン利用率という指標で示されている。両指標ともにロス率、燃焼度、増殖比などの指標から作成されるという点で重複性も指摘できるが、前者は量（時間概念を含む）の概念を強調し、後者は最終的にウラン資源の何％を利用するのかという“ポテンシャル”を述べているという観点から考えると、この階層構造自体は、妥当であると考えられる。ここでは、各階層構造を示す指標のうち特に「ウラン累積需要量」について以下の点を指摘しておく。

資源節約性という視点を示すために、ウラン累積需要量という指標を用いている。あるタイプのＦＢＲサイクルシステムを導入した結果、軽水炉が使用されなくなる分だけウラン資源を節約できるが、その節約分を除いた後のウラン累積需要量（軽水炉分）によって示されている。

この指標の抱える問題点は、ひとつはウラン累積需要量がＦＢＲ導入量シナリオに依存するということである。しかしながら、これは現実問題としてＦＢＲサイクルシステムによって増殖比、燃焼度などの点からＦＢＲ導入量に差が出てくるという点でやむを得ない。

平成11年度には、増倍時間を指標としていたが、ここでは、増倍時間がウラン累積需要量に影響する量であることを考慮し、この指標を用いている。資源有効利用性を評価する指標としては、「増倍時間」という明らかな時間概念よりも、時間概念を含んだ累積量を用いる方がわかりやすいとも言える。しかしながら、その名称には節約性という言葉を用いているにもかかわらず、指標の内容はウラン資源節約量ではなく「ウラン節約量控除後のウラン累積需要量」であることにより混乱を招きかねないとの懸念もある。結果的には同

じことであるが、ここは「累積需要量」の代わりに「ウラン節約量」とした方がむしろ分かり易いのではないかと思われる[2]。

3.1.4 環境負荷低減性

環境負荷低減にかかる指標についても、変更が加えられている。その際に前提となる検討のポイントは以下とのことである。

① 発生量と放出量（固化・隔離→遅延放出、希釈放出→瞬時放出）の低減に注目した階層構造となっている。
② GHG（Green House Gas）等の化学物質については、フェーズIIで扱うこととして今年度の階層構造には含まれていない。
③ 事故時の放出による環境負荷は、安全性の範疇とするため、本評価視点では対象外とする。

検討の結果、本視点については特に指摘する点が見当たらなかった。

3.1.5 核拡散抵抗性

当視点も平成11年度からは異なり、核拡散抵抗性という評価視点を示すための定量的な値を作り出すことは困難であることから、チェックリスト方式で評価するように変更している。この点については、以下の点を指摘しておく。

まずチェックリスト方式は、は各システムごとに一対比較を行うよりは、分かり易く望ましいといえる。また、視点そのものも定量化しにくい性質をもっているため、無理に定量化するよりはチェックリスト方式のほうが透明性が高まるであろう。

次に、核拡散抵抗性に関連する指標があまりに多い（数として）という点も指摘できる。それぞれ、重要な点であることは理解できるものの、あまりに指標が多いと核拡散の可能性のあるポイントが多いという印象も与えかねない。本当に、これらのチェックポイントが核拡散抵抗に有効であるかを吟味した上で集約していく必要もあるのではないかと思われる。

3.1.6 安全性

安全性に関する評価構造も、平成11年度とは大幅に異なっている。社会的安心感という

[2] ただし、節約量は「想定するウラン資源量－需要量」となるため、効用関数設定において「ウラン資源量総定置」に依存してしまう。従って、システム運用上は「累積需要量」とするほうが望ましい。

評価視点が、社会的受容性に関する検討に移行されて、「プラント安全性」と「炉心安全性」に関する指標により構成されている。

社会的受容性に関して別フレームで評価することとしたことは、まず妥当であると思われる。3.3でも検討するが、社会的受容性は、他の経済性や資源有効利用性などをも構成要素として含んでおり、仮に安全性の一部分として評価するとなると重複しかねないためである。

平成１１年度における技術的安全性の評価指標は以下の４つであったが、この４つで全てを網羅できるのか、という観点からは分かりやすい指標であるとは言えなかった。例えば、1999 年の JCO 臨界事故などの事象はどの指標で評価されるのかが分かりにくい。これに対し、今年度は表 3-1のように改訂され、安全性（ここでは社会的安全性を除き技術的安全性のみ）を、プラント安全性と炉心安全性に分類しており、前者で“(再処理工程も含む）システム全体”について設計基準事象に対し評価することとなっている。さらに、設計基準事象を超える事象についても、後者（炉心安全性）でカバーできるようにしている点が特徴である。

表 3-1　安全性の評価指標

平成 11 年度の評価指標		関係する内容
技術的安全性	安全水準	炉心損傷などの確率
	許認可性	制度
	炉心安全性	受動安全性など炉心の性質
	臨界安全性	センサー／警報などの安全設備

平成 12 年度の評価指標		対象範囲
安全性	プラント安全性	（再処理工程を含む）システム全体 設計基準事象に対して評価
	炉心安全性	炉心に関わる事象のうち、設計基準事象を超えるもの （炉心損傷防止、再臨界回避、事故後安定冷却・閉じ込め）

評価関数は、満足（＝１）と不満足（＝０）の二者択一としている。「この程度であれば、まあ満足だろう」という、いわゆる中間満足値を設定すること、また、その根拠を他者に説明することは、安全性という指標に関しては至難であることを考慮すれば、二者択一方式はわかりやすいため、妥当であると言える。

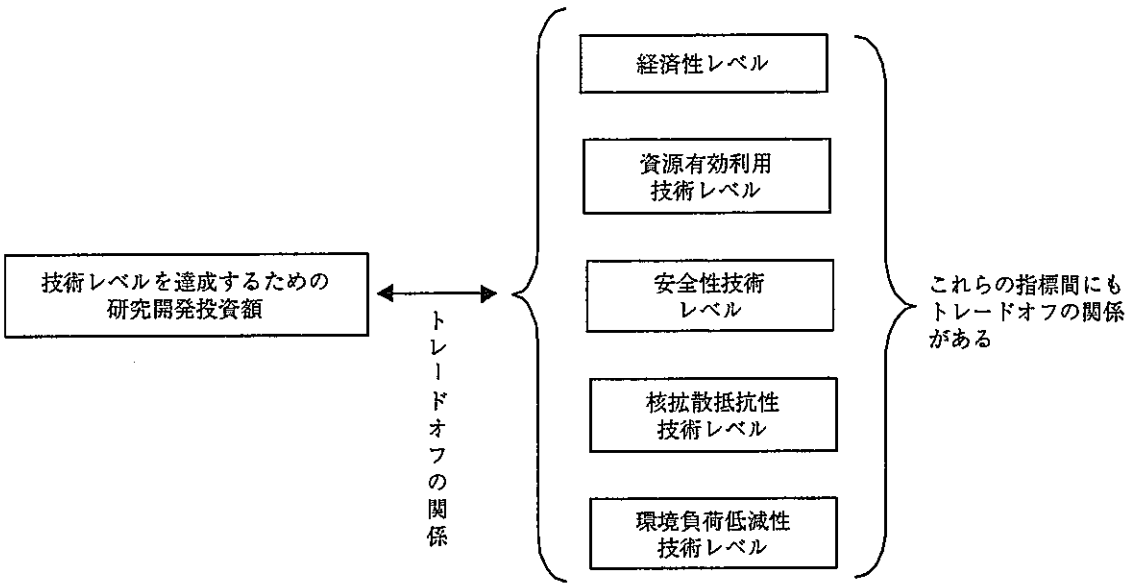
3.1.7 技術的実現性

技術的実現性の評価構造としては、「成立性」「開発投資」の 2 点から構成されている。まず、技術レベルとして、現状の技術レベルを科学／工学／実用の 3 段階で概略評価しているが、これについては他評価視点を達成する過程における技術過程としての現状を評価

していると考えられるため、妥当である。

一方、開発投資は2015年までの開発計画より算出するとあるが、本来は他指標であげられている技術レベル（経済性、資源有効利用性、など）を達成するのにかかる研究開発投資額を見積り算出するべきである。研究開発投資額と技術達成度合いには経済性とともに、トレードオフの関係が成立しやすいため、いくら望ましい技術であっても資金のかかる技術は見送られるという方向となる。むろん、予想投資額を正確に見積もれない場合には、5段階などでチェックリスト方式によることも可能であろう。

図 3-2　開発投資と他指標のトレードオフの概念



3.1.8 まとめ

以下に評価構造に関する検討の結果をまとめる。

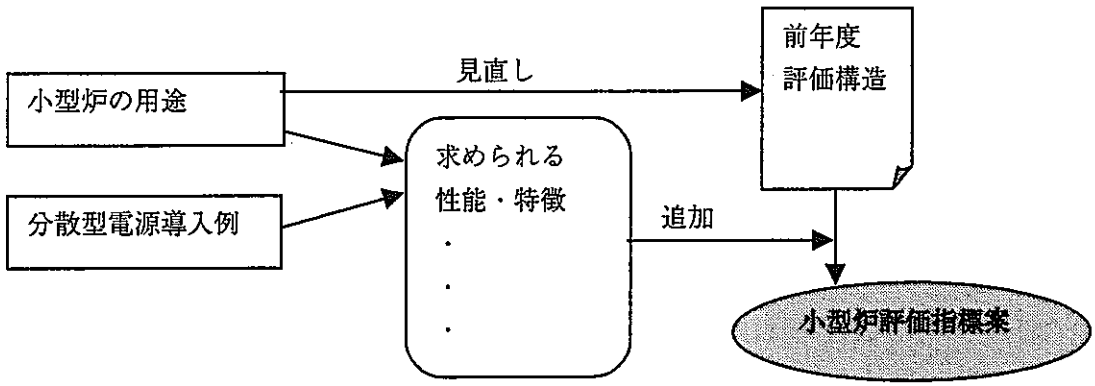
①経済性に関する効用関数の満足値水準には、ＦＢＲ電源の役割（ウラン枯渇に対応）なども含めて再考することも一案である。
②資源有効利用を示す指標の導出過程が、若干、複雑なっているきらいがあるため、よりシンプルはウラン節約量などの値とした方が望ましいのではないかと考えられる。
③核拡散抵抗性に関する指標が多すぎるが、これはＦＢＲの核拡散予防には多くのポイントが必要との印象も与えかねない。この点も考慮しておくべきであろう。
④技術的実現性における開発投資金額は2015年までの開発計画より算出するとあるが、本来は他指標であげられている技術レベル（経済性、資源有効利用性、など）を達成するのにかかる研究開発投資額を見積り算出するべきである。

3.2 小型炉の評価因子の検討

近年、より単純化された構造により高い安全性を有するとされる小型炉について議論が高まっている（参考文献[22]など）。本節では、前年度は対象としていなかった小型高速炉（～100MW）の評価として、離島や遠隔地などでの局所的電源供給や海水の淡水化など、基幹電源とは異なる観点からの評価項目に関する調査を実施し、小型炉の用途に適用し得る評価因子の検討を行う。なお、ここで行う小型炉の評価は、大型炉との比較ではなく、小型炉同士、または、小型炉と他の分散型電源（風力、ガスエンジン、ガスタービン、燃料電池、など）との比較であるとする。指標の重み付けは、用途ごとに行うことが前提となる。

検討の流れとしては、まず、小型炉が適用され得る用途を列挙し、各用途に求められる性能や特徴を整理する。また、平行して他の分散型電源導入事例を調査することにより、各事例において電源に求められている性能・特徴を整理する。これら性能・特徴を、評価指標として加えるべきかどうかを検討するとともに、前年度に設定した評価構造を、小型炉に対する評価という観点から見直す。

図 3-3　小型炉評価指標調査フロー



3.2.1 小型炉の用途

小型炉が利用されうる用途としては、以下が考えられる[7]。それら用途に小型炉を適用する場合、求められる特徴は何か、また、競合する他の電源は何か、を検討する。

（1） 僻地・離島での利用

僻地・離島など、送電網が完備していない地域では、小型炉を分散型電源として利用するニーズがある。この場合の競合相手として、他の分散型電源（マイクロガスタービン、燃料電池、風力発電、太陽光発電など）が考えられ、これらと比較して、小型炉が安全性、操作性、経済性等で優位であること、が求められる特徴である。これらのほかに、当該地域の地理的条件や気象条件、小型炉の用途（ベース電源とするのか、ピーク対応とするのか）により、様々な特徴が求められる。例えば、寒冷地などで熱需要が大きい場合には、コージェネレーションシステムとして使用した場合のエネルギー効率が高いこと、ピーク対応利用をする場合には、出力調整が容易であること、などが挙がる。

（2） 発展途上国への導入

地球規模で考えるとき、これからエネルギー需要が急速に増大すると考えられるのは発展途上国においてである。当面は従来型エネルギーを使用したとしても、経済性や環境問題の面から、または化石燃料枯渇の問題からも、小型炉のニーズが現れてくる可能性が高い。この場合、小型炉に求められる特徴は以下である。

①輸送・据付方式で、建設が容易
②重要部分の供給国での工場製作・工場内検査が可能
③運転・保守・点検・補修・取替が容易
④極めて高い安全性および信頼性（訓練されていない人がどのように扱っても環境に被害を及ぼすような事故・故障を生じない）が達成される。
⑤資本費の安さ（導入国の経済状況によっては指標となり得る）
⑥十分な核拡散抵抗性（燃料交換なし、遠隔監視など）

ここでも、競合する相手として、（1）で挙げた他の分散型電源が考えられる。

（3） ビル、病院、ホテル等での利用、地域熱供給熱源

工場での自家発電や、コージェネレーションシステムとしてのホテルなどへの発電機導入の事例は多い。小型炉に対する競合として、ガスタービン、ガスエンジン、ディーゼルエンジン、燃料電池、マイクロガスタービンが挙げられるが、電源の規模として100MW程度を想定しているため、一定のまとまった地域などへの供給システムが競合対象となる。

このような利用法において、経済性・安全性・環境負荷低減が求められていることは言うまでもないが、（1）と同様に操作性も求められる。また、経済性では、保安規制等によるオペレーションコスト増が無視できない要因となる。環境負荷低減には、騒音や振動といった要素が含まれる。

表 3-2　コージェネシステムとして使用される電源の特徴

	ガスエンジン	ガスタービン	燃料電池
特徴	①発電効率が比較的高い ②1000kW 級以下では出力あたりの建設費が安い ③自動運転可能、発停時間が短い	① 部品点数が少ない ② 冷却水がほとんど不要 ③ 出力あたりの重量が小さい ④ 排熱回収が容易	①低出力でも高効率 ②有害ガス排出が少ない ③振動・騒音がほとんどない
標準的な仕様	①数 10～数 1000kW ②発電効率 20～40% ③排熱温度 400～600℃	①500kW～数万 kW ②発電効率 14～35% ③排熱温度 400～600℃	①数 kW～数 1000kW ②発電効率 40～50% ③排熱温度 170～1000℃

（4） 特殊環境下での利用（極地、高山、地底など）

これら地域では燃料の調達や補給が困難であるため、少燃料であること、燃料補給が容易（または不要）であることが求められる。また、メンテナンスフリーであること、遠隔操作できることも重要な要素である。

（5） 海底・海中・洋上での利用

上記(4)で挙げた要素のほかに、酸素が不要であること、塩水雰囲気や水圧に耐えられることが求められる。

（6） 人工衛星、宇宙ステーション、宇宙船、月面、火星等での利用

高密度エネルギーであること、酸素が不要であることから、小型炉は宇宙での利用価値が高いエネルギー源であると言える。求められる特徴は、

①メンテナンス・フリー
②遠隔操作が可能
③小型軽量であること
④無重力・真空中で使用可能
⑤廃熱が小さいこと

が挙げられる。競合するエネルギーとしては、太陽光エネルギーが考えられるが、出力範囲に応じて住み分けも可能である。なお、米国と旧ソ連では原子炉衛星打上げの経験をもっている[3]。

（7） 非常用電源としての利用

バックアップすべき電源の用途に求められる特徴を有していることが条件となるが、その他に、短時間・容易に起動することが求められる。

---

[3] 米国では SNAP－10A 等の実績がある。旧ソ連においても、小型高速炉を用いた海洋監視衛星 33 基が運用されたとされている。

（8） 工場などでの産業用熱利用

製鉄や化学工場などの用途には、約 1000℃程度の高温が必要である。また、1000℃が得られれば、水素製造[4]などにも利用できる。熱利用に関しては、その目的により必要となる温度領域が異なる。地域熱供給では 200℃程度、オンサイト給湯などでは 100℃強で十分である。

（9） 海水の淡水化プラント

北アフリカ諸国などでは、飲料水を確保するために海水の淡水化プラントに原子力を利用する動きがある。中近東では、ガスタービン発電機はどのエネルギー源をもとに、淡水化プラントを建設し、飲料水の供給を行っている。しかし、北アフリカなどでは、石油危機などにも備えて、より安定的に供給される資源での淡水化プラントが求められる。

（１０） 中性子利用炉

医療、工業、検査、研究等に利用が考えられる。競合するものは、加速器や核融合炉など。

（１１） モジュール炉としての利用

小型炉の集合体として用いるモジュール型炉は、大型炉との競合となるため、ここでは除外する。

上記の各用途に求められる性能を議論したが、他の用途で議論された性能に関しても対象用途に備わっていれば望ましいものもあり得る。そこで、１）～１１）の用途について、求められる性能を表 3-3に列挙した。ここでは、前年度に構築した評価指標に含まれると考えられる項目（経済性、資源有効利用性、核拡散抵抗性、環境負荷低減、安全性、実現性、に関するもの）は除外している。

列挙した性能のうち、“*他の用途では必ずしも必要がない特殊な性能*”は表中で*イタリック表示*しており、それを含む用途は今回の検討対象から除外することとする。また、「ビル・ホテルでの利用」および「非常用電源としての利用」は、各需要地点ごとに発電設備が設置される場合が多く、ここで想定している小型炉の需要規模（１０MW）と比較して非常に小さいものが多いと考えられるため、検討対象から除外することとする。さらに、今回は“電源”として評価することとし、熱源のみの利用用途や海水淡水化プラントも除外して考えることとする。以上より、ここで対象とする用途は、①離島・僻地での利用と、②発展途上国への導入　とする。

[4] 水電解法など低温プロセスもある。水電解法では 50～150℃。

表 3-3　小型炉評価をする際の用途と求められる性能

用途	求められる性能	一般性
僻地・離島での利用	操作の簡易性	○
発展途上国への導入	操作の簡易性、導入の簡易性、（導入地域によっては）石油代替性	○
ビル、病院、ホテル等での利用，地域熱供給熱源	操作の簡易性、（環境負荷低減として）騒音・振動、排熱回収の容易性・安全性	○
特殊環境下での利用	*メンテナンスフリー、遠隔操作*	×
海底・海中・洋上での利用	*酸素不要、塩水雰囲気、水圧*	×
人工衛星、宇宙ステーション、宇宙船、月面、火星等での利用	*メンテナンスフリー、遠隔操作、無重力・真空での使用*	×
非常用電源としての利用	短時間での起動、容易に起動	○
工場など産業用熱源	排熱回収の容易性・安全性、用途に適した排熱温度	○
海水の淡水化プラント	（導入地域によっては）石油代替性	○
中性子利用炉	*中性子利用の用途によっても指標が異なる（医療、工業、検査、etc.）ため、ここでは除外。*	×
モジュール炉	*大型炉との競合になるため、除外。*	×

*特殊な性能*を含むものは、“一般性”を×としている。

上で*特殊な性能*としたものを除いて、求められる性能・特徴を整理すると、表 3-4のようになる。

表 3-4　抽出された性能・特徴

性能・特徴	指標構造での関係
操作の簡易性	「簡便性」の下位指標とし得る
導入の簡易性	
石油代替性	「資源有効利用性」の下位指標
騒音・振動の低減	「環境負荷低減」の下位指標
メンテナンスフリー	「簡便性」の下位指標
短時間での起動	「簡便性」の下位指標
熱利用用途に適した温度の排熱	

3.2.2 他電源導入事例

ここでは、上記用途に利用されている競合他電源導入事例を見る。そこで求められている特徴、性能のなかで、小型炉を評価する際に考慮すべきものとして新たなものがあれば抽出する。

（1） 宮古島における太陽光発電・ディーゼル発電ハイブリッドシステム[27]

現在、離島等の遠隔地の多くはディーゼルエンジンを電力源としているが、コスト高、燃料輸送の不安定性等の問題を抱えている。環境保全の面からもクリーンなエネルギー源である太陽光発電の導入が期待されている。

このような状況の下、ＮＥＤＯが中心となり、宮古島において独立電源用の太陽光発電・ディーゼル発電ハイブリッドシステムの実用化技術開発を進めている。

このシステムは太陽光発電を主電源とし、ディーゼル発電を補助電源としたもので、無尽蔵で無公害なエネルギー源である太陽光発電の特長に加え、次の特徴を持っている。

・太陽光発電電力の利用率が高い。
・太陽電池・蓄電池容量を低減でき，経済的である。
・日射量の変動に対する電力供給信頼度が高い。
・ディーゼル発電の負荷率向上制御機能によって燃料節約ができる。

離島や僻地等ではディーゼル発電の代替として、東南アジア等の無電化地域では村落電源用として，このシステムの導入が期待される。

（2） 離島でのガスタービン発電機の導入[28]

沖縄電力は、定格出力5,000kWのガスタービン発電設備２基を石垣第二発電所（石垣島）構内に導入した（使用燃料はＡ重油、ＮＯｘ値は７０ppm以下を達成）。

沖縄電力では、これまで大小３９の有人離島に主としてディーゼル発電機で電気を供給していたが、これらの島々の遠隔性や電力需要が小規模なことから、近年は風力発電、太陽光発電などの自然エネルギーや移動式ガスタービン発電機車の導入も進め、電力需要の増加に対応している。今回の定置式ガスタービン発電設備は、従来から離島で採用されているディーゼル発電設備に比べ、軽量・コンパクトで、土木建築費用を含めた設備投資額が削減できる等の利点がある。

（3） 離島用風力発電ハイブリッドシステム[29]

沖縄県の離島（波照間島）など、280kW の風力発電機を 5 基のディーゼル発電機とハイブリッド化し、自動で常に風力エネルギーを優先的に利用してディーゼル燃料の節約を図り、風力発電特有の急な出力変動も蓄電池などで制御し、良質な電力を供給するシステムが導入されている。

このシステムがもつ特徴は以下の通り。

・風の強弱に伴う風力発電出力の変動や風車停止による急激な出力低下に対し、蓄電池が出力を補償し、自然エネルギー利用で問題となる電圧や周波数の変動を抑え、安定した電力を供給。

・必要な電力と風力の発電量を考慮してディーゼル発電機の自動起動、自動停止を含む出力制御を行ない、風力発電の電気を効率的に活用するとともに、ディーゼル発電機の燃料節約、CO2 低減の効果がある。

（4） 宮古島における七又風力発電実証研究設備[30]

沖縄電力では、環境問題への対応と石油依存度の低減および離島電力供給コストの低減等を目的に、実証運転研究を行うため、沖縄県宮古島字福里の七又海岸の太陽光発電実証研究設備に隣接して「七又風力発電実証研究設備」の導入を進めている。宮古島には、すでに国産風車 2 基（三菱重工製 250kW）とデンマーク製 3 基（ミーコン製 400kW）の風車（合計出力 1,700kW）を平良市西平安名岬に設置しており、実証運転を実施中である。

（5） ガスエンジンによるコージェネ（シェラトンホテル札幌）[5]

ホテルのエネルギーシステムとして、省エネルギー性に優れ、環境負荷低減に寄与するとともに経済性にも優れたシステムが求められ、出力 415kW のガスエンジン 3 台を使用したコージェネレーションシステムが導入されている。

（6） 燃料電池によるコージェネ（名古屋栄ワシントンホテル）[5]

同ホテルでは、省エネルギーを目的としてコージェネシステムを導入している。クリーンで低騒音という環境適合性から、燃料電池を選択し、100kW 級 PAFC を導入した。

（7） その他分散型電源の可能性（マイクロガスタービン）

マイクロガスタービンは、コージェネシステムとして利用することで分散型エネルギー供給システムに適用可能であり、従来のガスエンジン、ディーゼルエンジンに比べて、①小型・軽量でイニシャルコストが安い、②構造がシンプルで保守が容易、③NOx などの有害排気ガスが少ない、といった特徴をもつ。我が国でも導入が進んでいる。

以上において、求められる性能として新たに挙がったものは表 3-5の通りである。電力品質は、最低限確保されなければならないレベルが存在し、それができなければ「実現性」がないことになる。したがって、これは「技術的実現性」に含まれるものであろう。また、企業イメージアップという目的がコージェネ導入事例の中に見られたが、社会的受容性のなかの１つのファクターと考えることができる。

表 3-5　他電源導入事例から抽出された導入目的

性能	備考
企業のイメージアップ	社会的受容性の１要因
負荷追従性	電力の品質
供給安定性	

3.2.3 小型炉評価指標の検討

前年度に構築した評価指標構造では、その最上層が下記の評価視点で構成されている。これらは、小型炉を評価する際にも必要な視点であると考えられる。ここでは、上での検討結果をもとに、評価視点として追加すべき項目、および各評価視点の下位構造について議論する。

＜前年度に構築したシステムにおける評価視点＞

経済性、核拡散抵抗性、資源有効利用性、環境負荷低減、安全性、技術的実現性

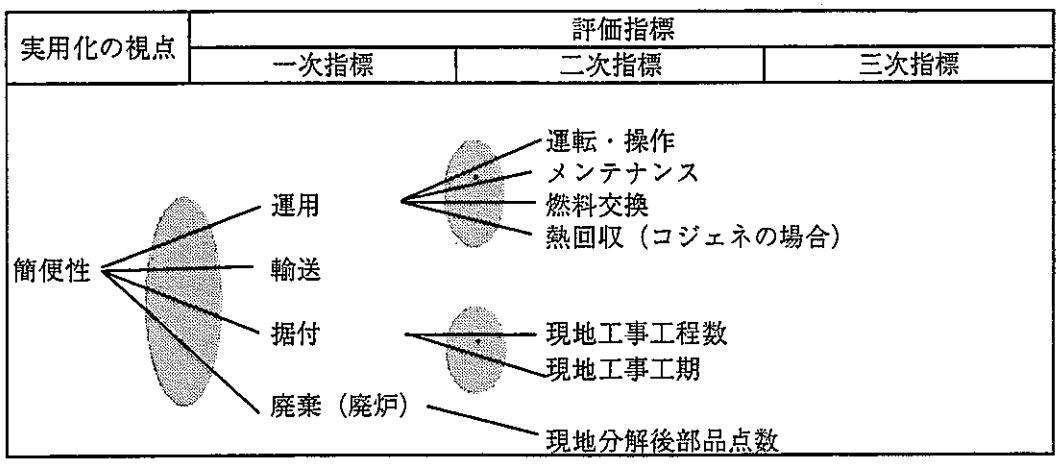
（1） 視点として追加すべき項目

①簡便性

操作の簡易性は、僻地への導入や発展途上国においてのみでなく、都市部での分散型電源としての導入においても重要な指標となる。輸送・据え付けなど導入の容易性についても、途上国では不可欠の特徴として求められるものである。分散型電源では、コージェネとして利用するケースも多く、この場合には排熱回収の容易性も求められる。さらに、メンテナンスフリーであることも分散型電源としては大きな長所となり得る。これら特徴は、「簡便性」の下位指標として括ることができる。

「簡便性」の指標構造例を図 3-4に示す。原子炉の場合には、使用済み燃料や廃棄物を運転者が扱わなければならないかどうか、という点は簡便性の観点から重要な項目である。これらは、燃料交換頻度や廃炉時の分解部品点数などで評価することが可能である。

図 3-4 「簡便性」の指標構造例



②品質

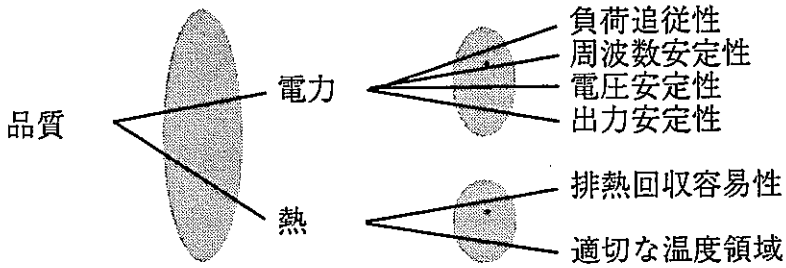
風力発電などの自然エネルギーは、自然条件によって出力変動が大きく、これを分散型電源として利用する際には、電力を安定供給し得るかどうかが重要な評価指標となるであろう。また、需要の負荷パターンにあわせた運転の可否も、利用する上では重要な指標である。一方、熱利用を主たる目的とする場合においても、必要とする温度領域が利用目的により異なるため、用途に適した温度での熱が得られるかどうかが重要となる。僻地や離島での利用を考えれば、電力品質のみを対象とすることも考えられる。

以上をまとめると、「エネルギーの品質」という視点で図 3-5のように整理することができる。各指標にかかる重みは、導入の目的や、運転を電力追従で行うのか、熱追従で行うのかによっても異なる。

表 3-6　温度領域と熱の利用目的

温度	利用目的
1000℃	化学、製鉄など
500℃	発電
200℃	その他産業用プロセス、地域熱供給
100℃	オンサイト温水供給など

図 3-5　「品質」の指標構造例



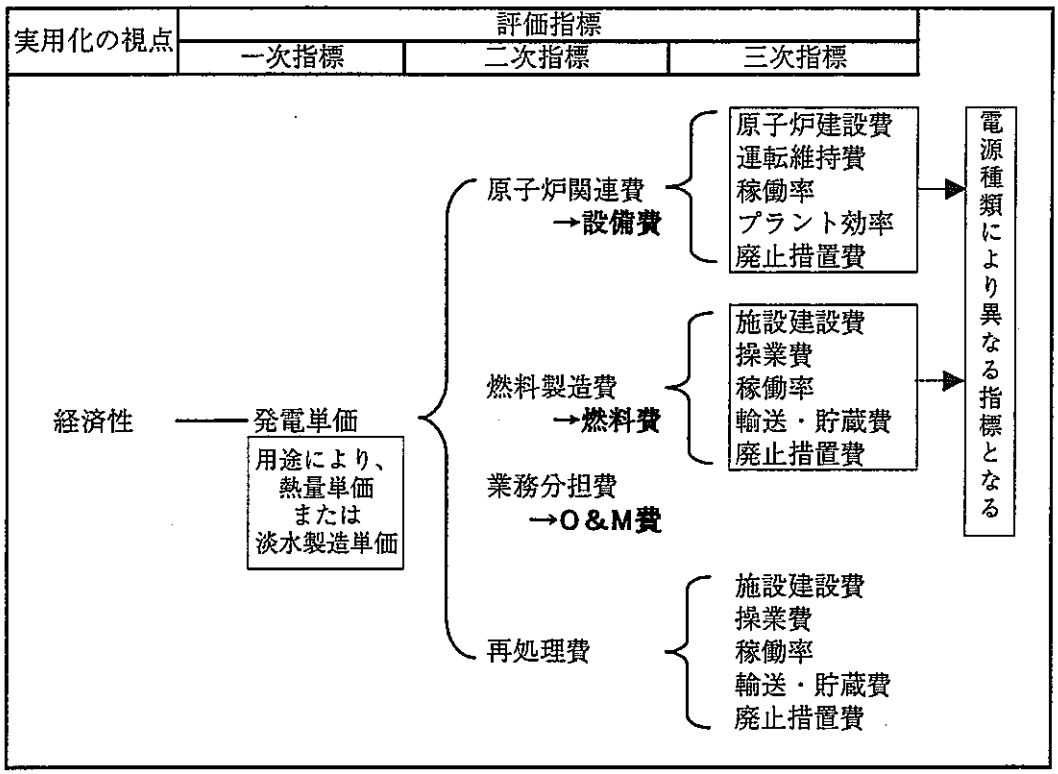
（2）　各視点の下位構造について

①経済性

前年度の評価指標では、kWh あたりの発電単価を経済性の指標とした。ここでも、電力を得る用途ではそれでよいが、地域熱供給熱源や、海水の淡水化に関しては、それぞれ下位指標を、単位回収熱量（Gcal）あたりの単価、淡水１m3あたりの製造単価などとして定め

る必要がある。また、単価の下位指標についても、設備費・燃料費・O&M（運転保守）費（原子力の場合は再処理費）などと一般化することが望ましい。前年度の指標では、原子炉関連費、燃料製造費、業務分担費を、それぞれ、設備費、燃料費、O&M 費とすることで、他電源にも拡張可能な指標構造となる。ただし、三次指標については、電源種により異なる構成となる。

図 3-6　経済性の指標構造例



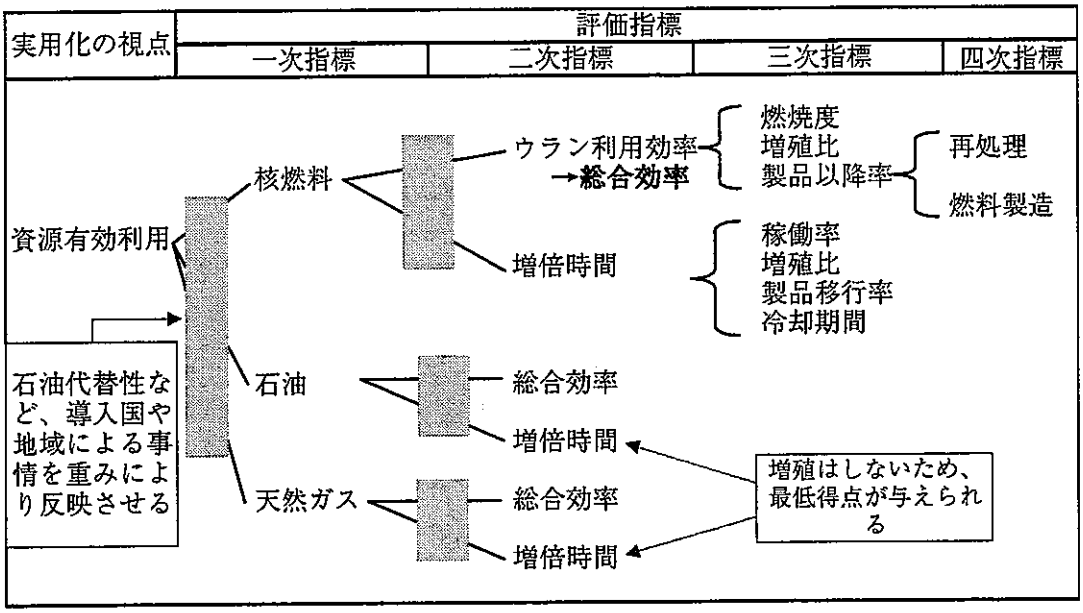
②資源有効利用性

他電源を議論に含める場合には、有効利用すべき資源の対象は核燃料だけではない。分散型電源では、石油や天然ガスの有効利用性が議論される場合もある。また、燃料電池では、メタノールや水素などの燃料使用可能性もあるが、分散型電源としては天然ガス（またはLPG）利用が有望であるものと考え、ここでは他燃料は含めないものとする

複数の資源について有効利用性を議論するには、比較の基準を統一することが望ましい。ここでは、発電以外にも熱利用などにエネルギーが利用されるため、総合エネルギー効率（利用した熱量／採掘前の熱量）を指標とすることはできないだろうか。また、増倍時間の概念は、他の資源にはないFBRの特徴である。“増殖”することがありえない他の資源については、増倍時間に最低得点が与えられることとなる。

なお、石油代替性については、一次指標の重み付けに反映させることで対応可能である。

図 3-7　資源有効利用の評価指標構造例



対象とする電源システムに投入される資源の種類が異なることを、“資源”に一般性を持たせて扱うことで対応することも考えられる。資源を単なる「有効利用性」の観点からのみではなく、「資源性」としてより一般化した評価を行う場合、その下位指標としては以下が考えられる。

・持続使用可能性

ある単位発電量を継続して稼動する場合、既知の資源量で今後何年間稼動可能か、または、既知の資源量で今後何 KWh の発電が可能か、を尺度として考える。後者を例にとると、当該資源の確認埋蔵量、当該資源の単位量あたり発熱量、発電システムの発電効率から、発電可能量を算出することができる。なお、その場合には“既知”とする資源量の確度についても勘案する必要が生じるであろう。

・備蓄性

単位発電量（kWh）あたりに必要は資源を備蓄するのにかかる費用を尺度とする。算出にあたって、備蓄設備費用、備蓄 O&M 費用、発生熱量、発電効率が必要となる。

・多用途性

用いる資源が、発電以外の資源としても有用であるかどうかを指標の 1 つとする。具体的には、その資源の全消費量のうち発電以外に使用される割合などが尺度となってくる

であろう。

・資源そのものの危険性

資源採取時、輸送時、運用時、備蓄時における危険性も、指標の 1 つとなり得るが、この指標は「安全性」に含めて評価したほうがわかりやすいとも言える。

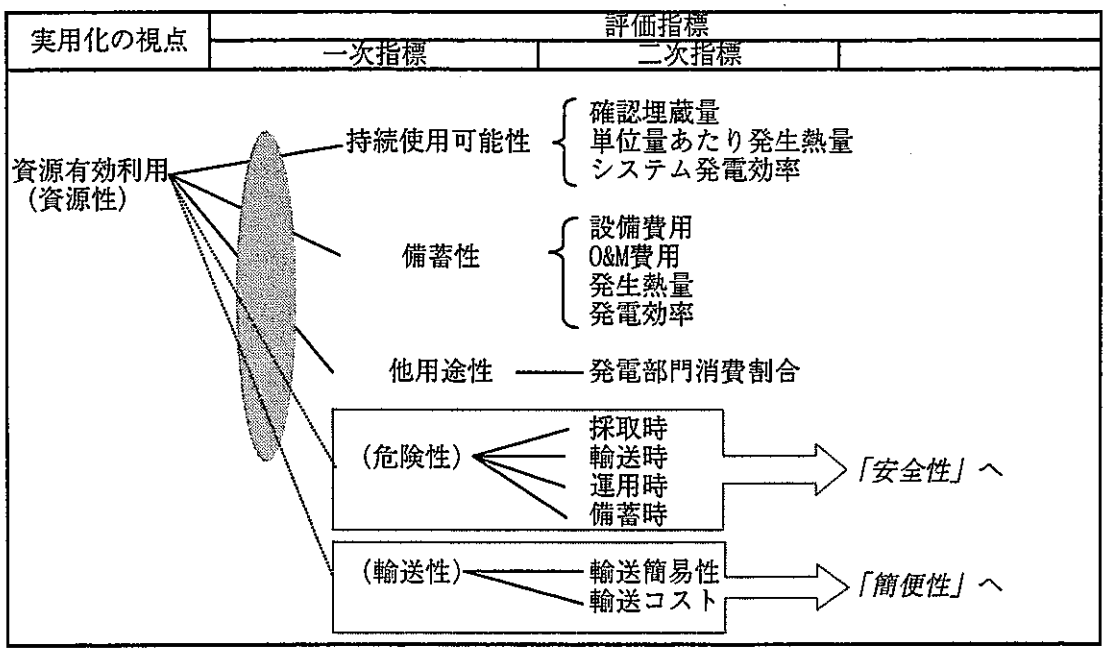
・資源の輸送性

産地、加工地などから納入場所までの輸送労力を考慮する場合には、この指標も加える可能性が考えられる。「簡便性」に含める考え方もあり得る。

・資源供給の安定性

過去の石油ショックの例に見られるように、資源供給に対し政治的・地理的に不安定な要因がある場合には、その程度も考慮する必要があると考えられる。しかしながら、資源供給の安定性は、その結果として燃料コストに反映されるものであるため、経済性に含めて議論したほうが供給安定性の程度を定量化しやすいものと考えられる（例えば、石油ショック等の確率と価格上昇割合など）。

図 3-8　一般化した「資源性」の評価指標構造例



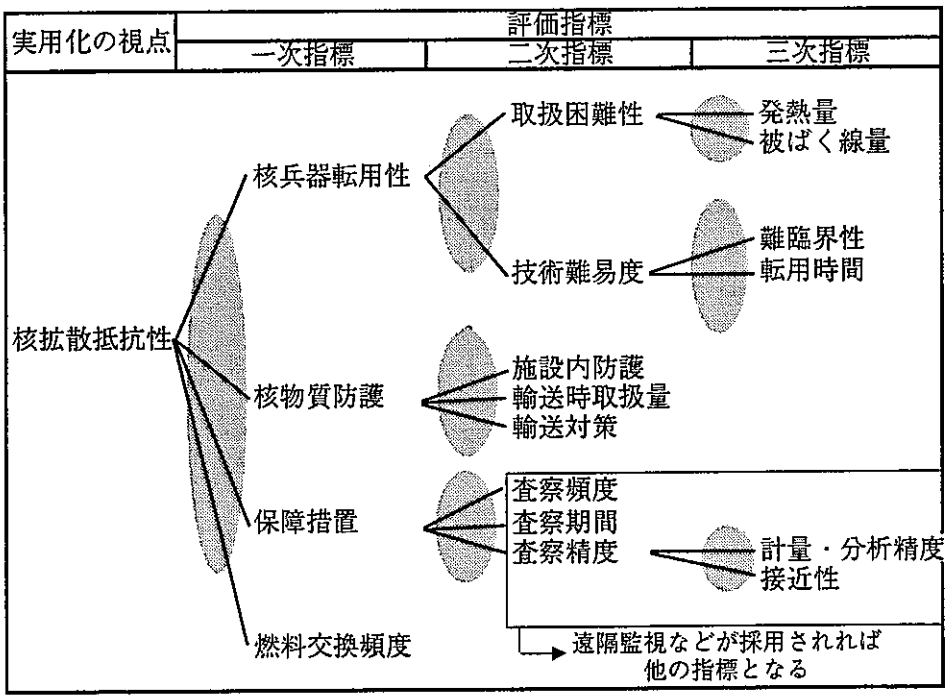
③核拡散抵抗性

前年度に設定した指標構造に対して、小型炉特有の問題を考慮する必要がある。“分散

型”として様々な場所で使用する以上、全ての炉の状況を監視することは極めて難しい。従って、炉そのものの核拡散抵抗性を評価する必要がある。小型炉を用いる場合に核拡散が心配となるのは、燃料交換時である。よって、燃料交換回数が少ない、または、燃料交換が必要ない炉であることが重要となる。そこで、1次指標に「燃料交換頻度」を加える必要があるのではなかろうか。燃料交換頻度がゼロの炉と、10 年に1度であっても交換が必要な炉では核拡散抵抗性は大きく異なる。そのような事情を反映した効用関数の設定も必要となる。

査察などの保障措置が、小型炉の利用において現実的に可能であるのかどうかという議論もあり、これが不可能であるとなれば、“保障措置”を1次指標から除くことも考えられる。 それでも、何らかの方法で監視できる方が望ましく、衛星を用いた遠隔監視なども提案されている[20]。なお、核燃料を扱わない他の電源については、核拡散抵抗性には最大得点が与えられる。

図 3-9　核拡散抵抗性の評価指標構造例



④環境負荷低減

前年度の指標には、FBR からの排出可能性がある物質については網羅している。ここでは、他電源からの排出が考えられる物質を追加することになる（SOｘを追加)。また、分散型電源としての利用の場合、騒音や振動も周辺への影響として問題化し得る。また、景観への影響について考慮する場合もあろう。これらを、「その他周辺環境」として評価指標に加え

る。

前年度に構築した指標は、FBR 評価のために構築された評価指標であるため、放射性物質発生に関する項目が二次指標までに数多く存在する一方で、CO2 や SOx、NOx が現れるのは三次指標であり、これらの得点が総合評価に占める割合は自ずと小さくなることがわかる。また、ここでは「発生」と「放出」を分けて議論しているが、放射性廃棄物については、発生量に比べて放出量が小さいため、「発生」が重要となるが、CO2 などは「放出」がより重要となる。このような事情を評価構造に反映させるためには、「発生」「放出」の下位指標に各物質名を並べるのではなく、各物質名の下位指標として「発生」と「放出」を置き、物質ごとに「発生」と「放出」のウェイト付けを行う方法も考えられる。

⑤安全性

小型炉同士の比較であれば、技術的安全性については前年度の指標を用いることができるものと考えられる。ただし、小型炉が安全だとするロジックとして、部品点数の少なさが挙げられることがあるため、「部品点数」を指標構造に組み込むことは、可能性として考えられる。

小型炉を他の電源と比較する場合には、技術的安全性を一般化する必要があるが、発電の原理、プラントの構造が全く異なるもの同士を比較する技術的指標を一般化することは非常に困難である。そこで、技術的安全性については、「許容できる範囲」と「許容できない範囲」を各電源毎に定め、効用値を0か1で与える手法が一つの候補として考えられる。

また、他の考え方としては、原子力の確率論的安全評価などに見られるリスク評価を各電源について行う手法がある。これは、例えば発電量 1GW 年あたりの死亡者数といった尺度で表され、そのリスク評価には、原材料の生産から発電プラントの運用まで含めている場合が多い。このような指標を用いることで、上記「資源性」で議論した“危険性”といった指標もここに含めることが可能である。

⑥技術的実現性

各電源について、技術的実現性を評価する項目は前年度どおり、開発期間と投資資金で妥当であると思われる。ただし、何をもって「技術的実現」とするのか、その定義を統一しておく必要がある。たとえば、風力発電の場合、「風力で電力を得る」ことで実現とするのか、「風力で得た電力を負荷変動に合わせながら利用できる」ことを実現とするのかで、開発期間・投資資金ともに大きく異なる。他の電源についても同様のことが言える。

3.2.4 一般化できない用途について

一般化することが困難であるとした用途は以下である。

特殊環境下での利用 海底・海中・洋上での利用 人工衛星、宇宙ステーション、宇宙船、月面、火星等での利用

これら用途では、遠隔操作、酸素不要性、真空での使用、耐水圧、など、特殊な性能が要求される。各用途ごとに評価指標を構築するか、または、上で一般化した評価指標に組込み、他の用途での評価を行うときには重みをゼロとして対応する方法が考えられる。

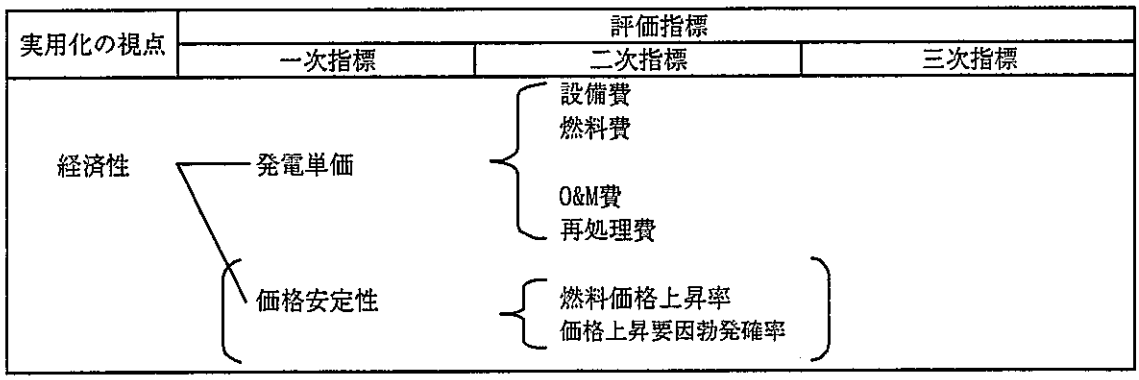
3.2.5 離島・僻地での利用を対象とした評価指標構造

ここまで、離島・僻地での利用以外にも様々な用途を視野に入れて議論を進めてきたが、ここで、利用用途を僻地・離島とした場合の評価指標構造例を提示する。競合する電源は、FBR に限らず他の分散型電源も含まれることを想定している。

（1） 経済性

上述したように、経済性は発電単価として比較するため、それが求まる指標とすればよい。たとえば、図 3-10に示すような下位指標が考えられる。電源種によっては、燃料費や再処理費はゼロとなる。なお、図 3-10には、燃料価格の安定性をここで含めて評価する考え方を採る場合の指標も示している。

図 3-10 離島・僻地で利用する小型炉評価指標（経済性）



（2） 資源有効利用

資源有効利用性は、多用な電源種同士を比較する場合、一次指標として燃料種を並べそ

れらの重み付けを行う方法と、資源を一般化して捉える方法とが挙げられた。

前者で評価対象とする燃料種としては、小型炉の燃料である核燃料のほかに、競合するマイクロガスタービン（MGT）などの燃料として考えられる、天然ガスと石油系燃料を想定する。石油資源を輸入に頼っているわが国のような場合、石油を使用しない、または使用量が少ないものを、“総合的”な資源有効利用の観点から優れていると評価すべきであろう。各資源の下位指標としては、単位発電量あたりの燃料消費量が考えられるが、燃料種ごとに発熱量が異なること、また、離島・僻地では熱供給に関する効率も考慮すべきであることから、総合効率で比較するのが適当である。以上に述べた評価指標構造は図 3-11のようになる。この構造では、例えば石油資源利用量削減が大前提条件となる状況においては、一次指標の“石油”に非常に小さな重みが与えられることとなり、どんなに総合効率のよい石油系燃料発電機であっても高得点を得ることはできない。

後者の評価指標構造では、下位指標には、持続使用可能性、備蓄性、他用途性を設定する。前節において、資源の危険性や輸送簡便性なども下位指標候補として挙がったが、ここでは、それぞれ、安全性、簡便性で評価されるものと考えて、指標からは除くものとする。この指標構造を図 3-12に示す。

図 3-11　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（資源有効利用①）

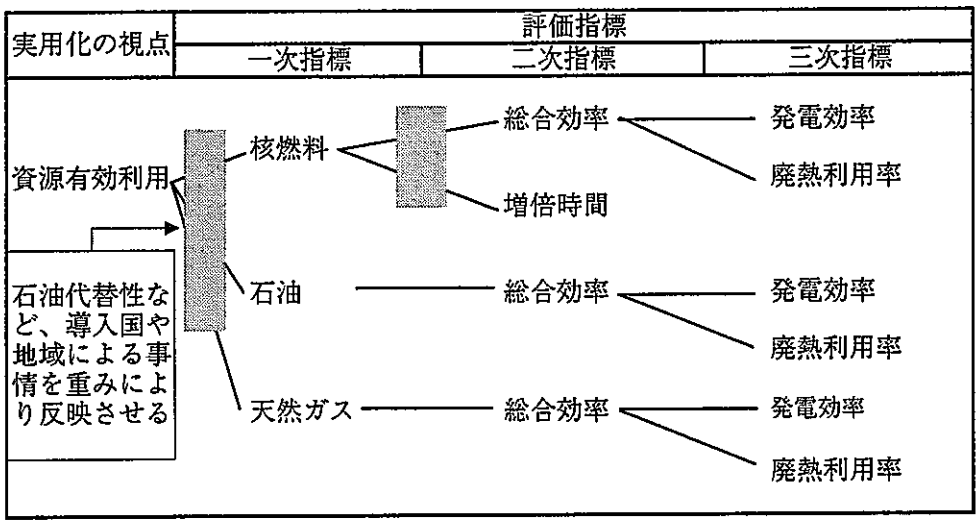
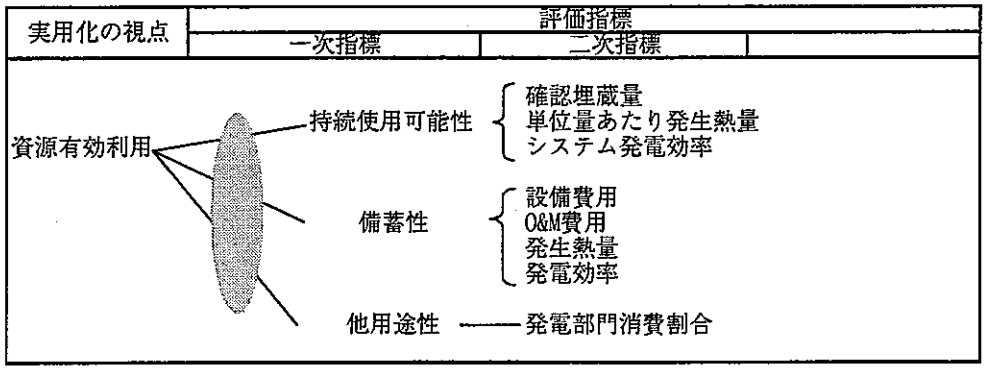


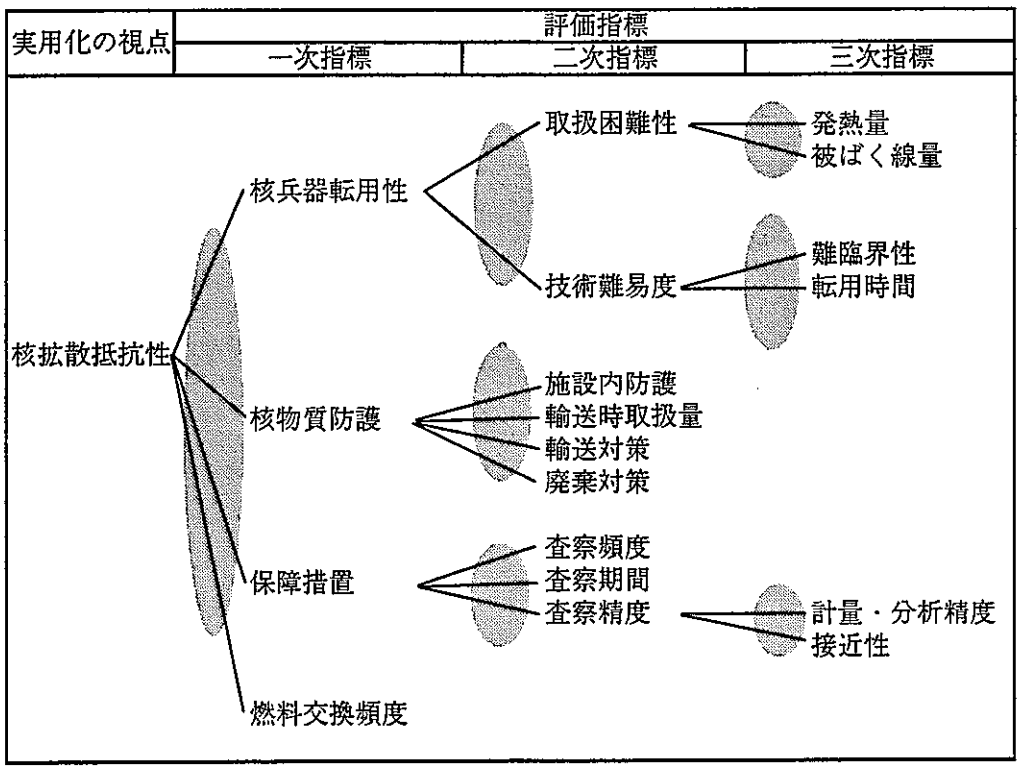
図 3-12　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（資源有効利用②）



（3）　核拡散抵抗性

この視点は核燃料を用いる電源特有のものであり、他の電源においては最高得点が与えられるものである。前々節では、昨年度に定めた評価指標に、小型炉特有の指標として燃料交換頻度を加えたが、ここでもその指標構造を再掲する（図 3-13）。

図 3-13　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（核拡散抵抗性）



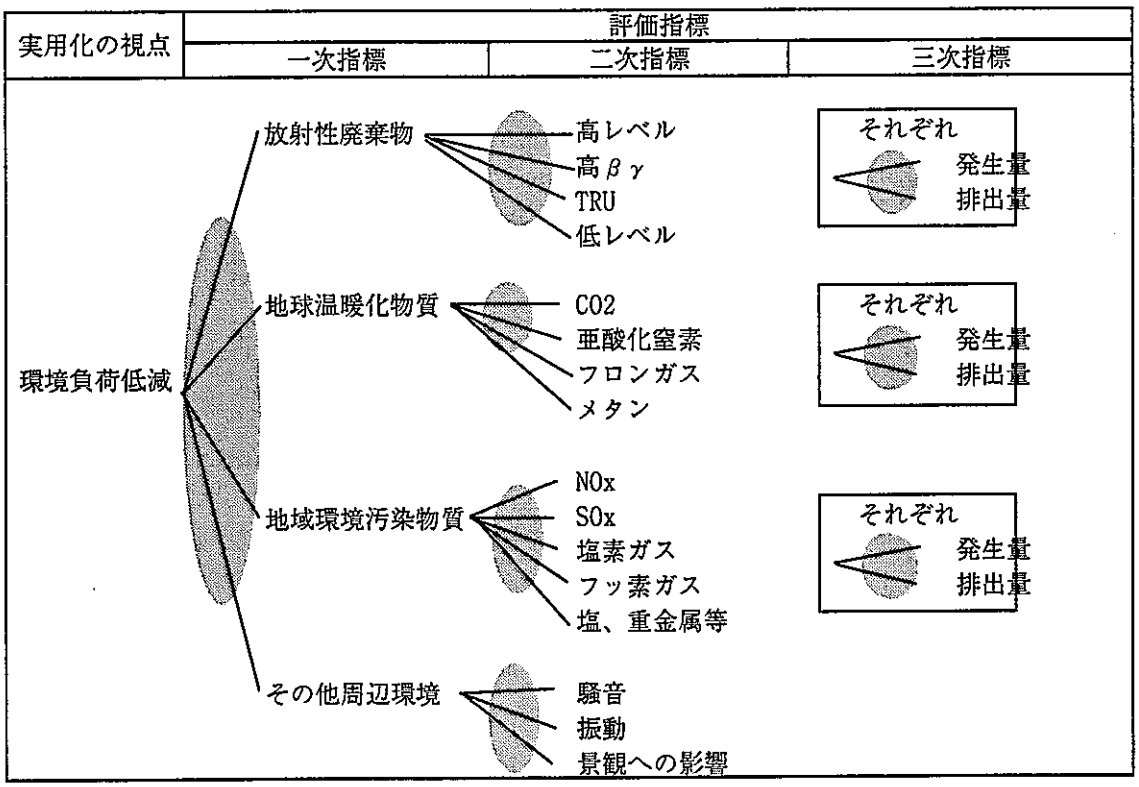
（4） 環境負荷低減

一口で「環境」と言っても、場合によって想定するものは様々である。離島・僻地への導入する小型炉を考えた場合、比較的狭い地域における環境が重要視されることもあり得る。そこで、ここでは、環境問題を次の４つに分け、これらを一次指標とする。

・放射性物質による環境汚染
・地球温暖化
・大気汚染等の地域環境
・その他周辺環境

二次指標には、それらに関連する物質を並べ、三次指標として、それぞれ発生と排出とどちらが重要であるかを評価する。

図 3-14 離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（環境負荷低減）



（5） 安全性

前節で議論したように、安全性に関しては、「許容できる」か「許容できないか」という、０か１かを効用値として与える方法と、確率論的安全評価などで得られるリスク評価（GW年あたりの死亡者数など）を用いる方法とが考えられる。

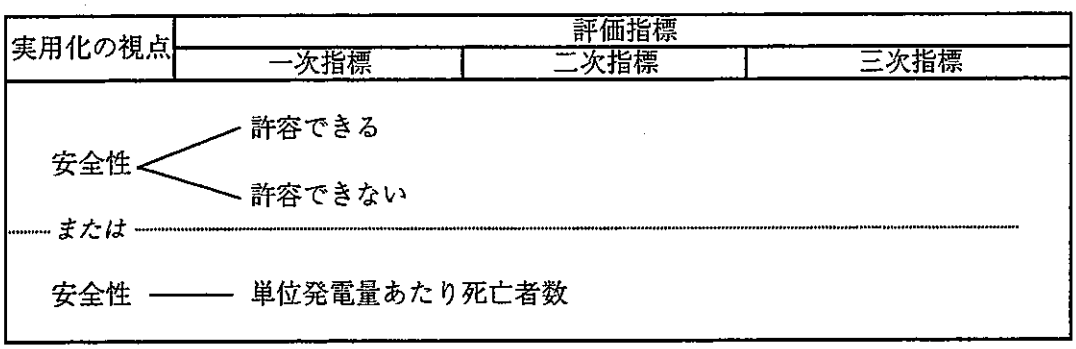
前者は、多用な電源種を対象とする場合、技術的安全性は電源によってその観点が大き

く異なると考えられ（石油系燃料では、燃料タンクの爆発、風力発電では自然災害による羽の破損、などが考えられる)、それら全てに関して定量的なデータを得ることが非常に困難である場合に使用されるものである。

後者は、比較対象となる電源種について、リスク評価結果が得られる場合には有効な指標構造である。確率論的安全評価ではライフサイクルに亘ってリスクを見積もっているケースが多いため、「資源」において議論から外した「危険性」をもここに含ませることが可能である。

それぞれの指標構造を図 3-15に示す。

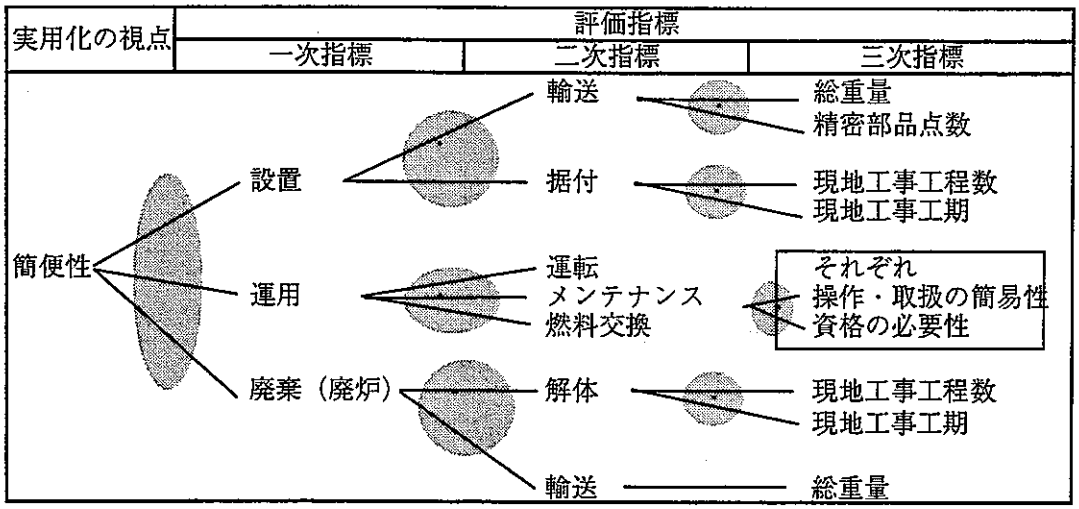
図 3-15　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（安全性）



（6）　簡便性

離島や僻地への導入を考えた場合、運転や操作の簡便性は重要な視点である。上述した簡便性の評価指標例（図 3-4）では、一次指標として運用・輸送・据付・廃棄としたが、現地での作業行程順に考えると、設置・運用・廃棄とするのがわかりやすい（輸送と据付は設置の下位指標とする)。廃棄については、核燃料を取り扱う場合、廃棄時の核拡散も考慮すれば他の電源と重み（設置・運用と比較した重み）を同じにすべきでないとの議論も考えられるが、核拡散に関しては「核拡散抵抗性」に含めているため、ここでは考慮しない。この視点の評価構造例を図 3-16に示す。また、資格の必要性は、発電コストにも絡んでくる指標でありダブルカウントになるとの見方もできるが、人員調達が必ずしも容易ではない離島などでは、資格の必要性がコスト面以外からも導入電源選択に影響を及ぼすと考えられるため、ここでも指標としてあげることとする。

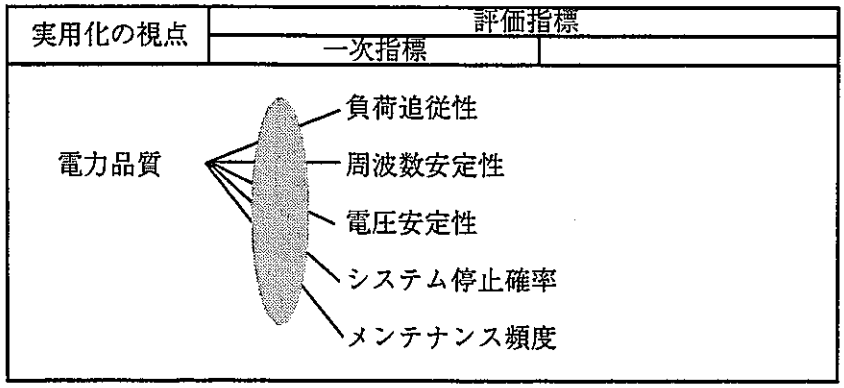
図 3-16　離島・僻地で利用する小型炉の評価指標（簡便性）



（7）　電力品質

離島や僻地での利用、特に、電力系統に連係していないシステムを考える場合、電力需要に合わせて信頼性の高い供給が可能であることは、非常に重要な指標となる。図 3-17に評価構造を示す。下位指標としては、負荷追従性や安定性のほかに、トラブルや事故によるシステム停止確率や、システムを停止せざるを得ないメンテナンスの頻度なども含まれる。

図 3-17　電力品質に関する指標構造



3.3 社会的受容性の評価因子の検討

技術的因子に直結しない社会的受容性などの項目に関する評価方法の検討を行う。検討の過程では、

・そもそも評価項目に加えるべきかどうか
・社会的受容性を評価構造のどの位置に置くか（他評価視点より上 or 同等）
・評価因子として何を採用するべきか
・PAとの関係の整理

などを主要な検討項目とする。

3.3.1 FBRの社会的受容性とは何か

今回、FBRサイクルの多面的評価システムに社会的受容性という因子を組み込むべきかどうかを検討することになったが、その際にはまず、

FBRの社会的受容性とは何か？

という課題に対する回答を明確に定めておく必要がある。その上で、これらの社会的受容性を決定づける因子を見つけ出して評価することが望ましい。

まず、社会的受容性とは何かという問題について検討する。社会的受容性を文字通り示せば、「社会が当該対象を受け入れるだけの性質を持っているか否か」ということが出来る。しかしながら、受け入れる主体は一言に「社会」といっても様々な社会がある。

例えば、原子力におけるPA（Public Acceptance）に関する議論でよく扱われる「社会的受容性」には

①原子力発電の推進に関する受容性　→　一般的な受容性
②地域における電子力発電所立地に関する受容性　→　立地に関する受容性
③原子力発電事業推進に関する受容性　→　事業としての受容性（採算性）

などがあげられる。①の場合、受け入れる主体はまさしく社会であり、一般大衆であると考えられる。②にの場合、むしろ受け入れる主体は立地住民に対してであり、一般国民とはいえない。③の場合、電力自由化という状況のもと、せっかく技術開発を行っても事業リスクが大きければ事業自体が行われないことから電力会社、プラントメーカー、などが受け入れる主体となると考えられる。

また、受け入れる対象にも、
①原子力の推進

②原子力発電所の立地
③発電設備としての原子力の採用
などがあげられ、受け入れ対象にも様々なことが考えられる。

このように社会的受容性といっても様々なタイプが考えられるわけである。これを FBR に当てはめて考えてみると、FBR サイクル推進に関する社会的受容性が高まったとしても、発電所立地が出来なければ意味がないし、また、電力会社（すなわち日本の場合は民間企業[5]）が投資採算を十分に取れるだけの設備として考えられなければ意味がない。

今回の FBR サイクル実用化推進に関する社会的受容性としては、当面は FBR サイクル推進そのものを対象とすべきかもしれないが、長期的視点（すなわち事業化までを視野に入れて）に立てば立地可能性や採算性なども十分に考慮しなければならないといえる。

以上の議論でも明らかとなったように、今回、考えるべき社会的受容性としては
①FBR サイクル推進に関する受容性
②地域における FBR 発電所立地に関する受容性
③電力会社の FBR 発電事業推進に関する受容性
までも視野にいれたものであるべきである。

3.3.2 原子力の社会的受容に関する議論の現状

FBR 研究開発だけでなく、軽水炉を中心とした原子力全般に関する社会的受容性に関する議論はかなり活発に行われている。まずは、その議論をいくつか紹介する。

（1） 一般的な社会的受容性に関する事例

1） 巻町における住民投票

1996 年 8 月に、新潟県巻町で原発建設の是非を問う住民投票が我が国で初めて行われた。ここでは、社会的受容性を考察する上での事例として取り上げるため、「間接民主主義の否定だ」、「地域エゴだ」といった議論は行わないこととする。

---

[5] もっとも英国のように原子力発電部分だけは国営電力会社が担当するという方式になるのならば、必ずしも民間企業というわけではないが、いずれにせよ投資採算性は重要なファクターとなる。

1994 年の町長選で「原発建設を推進する」と公約して原発推進派の町長が当選した。このときから、原発建設の是非が住民の間で問題となりはじめた。その後、町長が得票率45.9%で三選を果たしたときに住民の反発がピークとなり、「巻原発住民投票を実行する会」が結成され、草の根運動が繰り広げられた。1995 年には、町民の自主管理方式による原発住民投票が行われ、(有権者の) 45%の投票率のうち 95%が原発反対を表明した。その後、1996 年 1 月の町長選において、この自主管理選挙を主張した町民グループの代表が新町長に当選し、住民投票の実施へと向い、「巻町における原子力発電所建設についての住民投票に関する条例」が制定された。

住民投票は 1996 年 7 月 25 日に告示され、有権者が原発建設に賛成か反対か○をつける方式で、8 月 4 日に行われた。その結果は報道された通り、

建設賛成	建設反対	投票率
7,904	12,478	88.5%

であり、反対が 6 割を超える結果となった。

この結果のうち、投票率 88.5%という関心の高さが得られたことは重要だと考えられる。投票までには、賛成派・反対派がそれぞれ専門家の講師を招いて討論会が開かれており、そこでの住民側からの多くの質疑を通じて原発問題への考えを深めていったとのことだ。住民投票を実行する会の設立から条例制定、投票施行までの一連の動きは、地域住民が原子力立地の決定に直接的に参加したいという意思の現れと見ることもできる。住民投票とは、意思決定の過程でどのように住民の意思が反映されるのかが極めてわかりやすい手法である。住民投票を適用したことが適当であったかどうかという議論はここではしないが、投票者の意思がわかりやすい形で結果に反映される手法が、一人ひとりの関心を呼び、コミュニケーションを深めた例であると見ることができる。

2) その他の事例

参考文献[32]では、原子力発電、高速増殖炉、火力発電、航空機、臓器移植、食品保存料・保存剤、遺伝子組み替え食品、医療用レントゲン検査、および、農薬・殺虫剤について、アンケート調査によりその受容性と有用性に関する認識を調査している。その結果、原子力発電と臓器移植は高い有用性が認められていながらも、受容性の評価が比較的低い結果となっており、FBR と遺伝子組み替え食品は有用性、受容性ともに、低い評価となっていた。これに対し、航空機、医療用レントゲン調査は有用性・受容性ともに高い評価を得ている。結論として、高い有用性が認められた上で、それが個人の楽しみに近いものほど、また、代替技術がないものは、早晩受容されるとしている。

（2） リスクコミュニケーションという観点からの議論

1999年9月30日に東海村で起こった臨界事故に関し、「原子力資料情報室」と「原水爆禁止日本国民会議」により「JCO臨界事故総合評価会議」が結成され、2000年2月に住民生活影響調査（アンケート調査）が実施された。その報告の中で、リスクコミュニケーションの重要性が指摘されている。表3-7に、いくつかの設問と回答集計結果を抜粋する。

まず、設問Aにおいて、事故を完全に防ぐことは不可能であることを6割以上が認識していることが示されている。また、設問Bでは、今後も東海村周辺地域に住んでいたいとの考えを5割弱が持っていることがわかる。クロス集計結果が不明であるため一概に結論付けることはできないが、A、Bの結果から、「リスクがあることがわかっているが、この地に住む以上それを受容する。」との態度を持つ人々がいることが推察される。さらに、東海村にある原子力施設の今後に関する設問Cでは、安全性に注意して現状のまま操業してもよいとする意見が、少しずつ減らしていくべきだという意見を大きく上回っている。このことも、原子力施設が受容されていることの表れとみることができ、これまで、リスクについての情報伝達（リスクコミュニケーション）が比較的うまく機能していたものと解釈することができる。なお、「危険な施設はすみやかに停止すべきだ」という選択肢は、原子力に限らずあたりまえの話であり、明らかな恣意性が認められるため、ここでは考察の対象から除外する。

表3-7 JCO事故周辺生活影響調査結果からの抜粋（1）

設問		結果	
A	次の意見についてどう思いますか。「原子力の事故を完全に防ぐことは不可能だ。」	そう思う	38%
		どちらかと言えばそう思う	25%
		どちらかと言えばそう思わない	8%
		そう思わない	16%
		わからない	10%
		NA	3%
B	将来もこの地域に住んでいたいと思いますか。	ずっと住んでいたい	36%
		しばらく住んでいたい	13%
		できれば引っ越したい	15%
		引っ越したいができない	25%
		わからない	8%
		NA	3%
C	東海村には原子力施設がたくさんありますが、それらを今後どうすべきだと思いますか。	安全性に注意して現状のまま操業してよい	36%
		少しずつ減らしていくべきだ	20%
		危険な施設はすみやかに停止すべきだ	33%
		その他	2%
		わからない	6%
		NA	4%

四捨五入のため合計が必ずしも100%にならない

しかしながら、下記のように、さらなるリスクコミュニケーションが求められていることも事実である。

（住民生活影響調査自由記述欄より）
・全ての原子力関連施設（工場）は場所および操業内容を周辺住民およびび当該自治体に明示すること
・普段から考えられる事故への対処方法についての知識を徹底し、訓練を実施すること
・事故発生時は、ボディーカウンターによる測定をはじめ住民の被曝実態を可能な限り正確に把握する措置をとり、その結果を住民に公表すること
・事故に関連するデータを全て公表すること
・事故後、全住民に対して継続的な健康調査を実施すること

同様の調査が、「防災とまちづくり」アンケートと題して東海村により1999年11月に行われている（表 3-8は結果抜粋）。ここでは、臨界事故の前後で原子力施設の安全性に対する認識と原子力推進の可否がどのように変化したかを尋ねている（設問A，B）。臨界事故の前は原子力施設を“安全”と考えていた回答者（約6割）のうち、少なくとも3／4程度は事故後には“危険“と考えるようになっている。その一方で、原子力を推進または現状維持すべきとの回答は、約8割から役5割へ減少するに留まっている。この結果も、「危険であると思うようになったが、原子力の推進・維持は受容する」という東海村住民の態度が示されている。この背景には、回答者の約 6 割が、自分または家族・知人が原子力関係者であるという事実があり（設問C）、彼らにとって原子力に対するリスク・コミュニケーションは日頃から行われているものであると考えられることが、原子力が受容される要因となっているものと思われる。しかし、避難または屋内退避中の村からの情報については半数程度が“不満”であったとしており（設問D）、さらに効率的かつ緊密なリスクコミュニケーションが必要であることも事実である。

表 3-8　東海村実施「防災とまちづくり」アンケート結果より抜粋

設問		結果		(%)
A	原子力施設の安全性について事故後と事故前の考えは。 （カッコ内が事故前）	安全	5	(21)
		まあまあ安全	10	(41)
		少し危険	24	(20)
		危険	54	(12)
		わからない	4	(3)
		無回答	3	(2)
B	事故後と事故前の原子力に対する考えは。 （カッコ内が事故前）	積極的に推進する	6	(11)
		慎重に推進する	27	(41)
		現状を維持する	18	(30)
		徐々に廃止する	28	(10)
		早急に廃止する	12	(2)
		わからない	8	(5)
		無回答	2	(2)

C	自分自身や周囲に原子力関連施設勤務の方や専門家がいますか。	自分自身が専門家である（勤めている）	12
		家族や友人・知人が専門家である（勤めている）	47
		家族や友人・知人に専門家（勤めている人）はいない	40
		無回答	2
D	避難または屋内退避中、村からの情報に満足しましたか	とても満足した	2
		大体満足した	45
		少し不満だった	31
		非常に不満だった	17
		無回答	6

四捨五入のため合計が必ずしも100%にならない

他にも、原子力等の巨大科学技術のもつリスクをいかに公衆に伝えていくかという「リスクコミュニケーション」という観点からの社会的受容性に関する研究もある。いくつかの研究事例をまとめたものを表 3-9に示す。

表 3-9　原子力社会的受容とリスクコミュニケーションに関する研究例

研究概要	文献
大学の授業で、放射性廃棄物に関する科学的情報や政治的・社会的問題に関する情報を与え、また小グループで討論させるなどした結果、大多数の学生の放射性廃棄物や原子力発電に関する態度が変化し、原子力発電を支持するようになった、と報告	参考文献[26]
原子力発電に関するリスク・コミュニケーションの効果について心理学的実験を行った結果、一面提示と二面提示とで説得効果に差が見られないこと、一面提示であれに面提示であれ、説得を受けた群は、説得を受けなかった統制群と比較して、明らかに受容的な方向への態度変化が生じたこと、原子力発電に関する知識の増加は必ずしも受容に結びつかないこと、などを報告	参考文献[21]
専門学校生を対象に放射線に関する講義を半年間行い、これらの学生の医療用X線やマスコミ報道に対する態度の変化を調べた結果、医療用X線の有用性に対する認識が向上し、危険性に対する認識が低下し、マスコミ報道に対する信頼度が低下したことなどを報告	参考文献[12]

（備考）参考文献[15]をもとに作成

（3） 心理学的側面からの議論

また、科学技術のリスク認知について心理学的研究が進められている。例えば、田中「どうして原子力リスクは過大評価されるのか」（参考文献[12]）によると、目新しく鮮明な事故や事件、自発的でなく受け入れたリスク、馴染みのないリスク、事故が生じた場合にカタストロフィックな結果をもたらすリスクなどは過大に評価される傾向があるという。これを原子力に当てはめて考えると、チェルノブイリなどの目新しい鮮明な事故、放射線という馴染みのないリスク、いったん事故が起こると周辺および将来にわたり多大な被害を

もたらす結果となりうる、といった点が過大リスクとして評価される要因のようである。

また、同文献によると、原子力立地に関する社会的受容性に関していえば、その受容を決定づける要因は以下の3点であるという。

- リスク認知（安全と感じるか危険と感じるか）
- ベネフィット認知（有益と感じるか無益と感じるか）
- 信頼感（国・事業会社が信頼に足りる存在か）

他にも、同じ田中（豊）氏らによる原子力社会的受容と心理的要因との関係についてのものが多い。代表的な研究事例についてまとめたものを表 3-10に示す。

表 3-10　原子力社会的受容と心理的要因に関する研究例

研究概要	文献
原子力発電所立地におけるリスク認知の内容を分析した結果、 ・「重大事故の可能性」 ・「放射線の健康に対する悪影響度」 ・「原子力発電技術の確立度」 ・「放射線の環境に対する悪影響度」 ・「人工放射線の自然放射線に対する有害度」 などが、リスク認知に大きな影響を与える要因であることが示されている。	参考文献[16]
高レベル放射性廃棄物地層処分場立地の社会的受容を決定する心理的要因を分析した結果より、高レベル放射性廃棄物地層処分場立地におけるコミュニケーションが効果を持つためには、リスクに関する情報に重点をおくこと、特に、 ・「事業主体に対する信頼感」 ・「地層処分技術の確立度」 ・「住民との対話の有無」 ・「事故時の補償」 ・「情報公開の程度」 などに対する認識を高め、「放射線の子孫の健康に対する悪影響」や「放射線の健康に対する悪影響」に関する不安を低減するような内容が含まれていることが必要であると示されている。	参考文献[17]
原子力に関する一般論の状況と、立地の状況とでは、社会的受容性におけるリスク認知及びベネフィット認知の重要性が異なる。 立地の状況においては、原子力発電所の場合もまた高レベル放射性廃棄物地層処分場の場合も、その社会的受容においてリスク認知が非常に重要な要因となっている一方、ベネフィット認知については、公共施設や社会資本などの整備あるいは公共サービスが向上するなどのベネフィットも、また電気代が安くなったり無料になるなどのベネフィットも、両者において重要な要因とはなっていないことが示されている。	参考文献[18] 参考文献[17]
リスクとベネフィットの主観的認知は、原子力発電をはじめとする種々の科学技術及びその産物の社会的受容において重要な要因であり、また事業主体に対する信頼感も比較的重要な要因であることを、重回帰分析を用いて実証的に示している。	参考文献[19]

（備考）参考文献[15]をもとに作成

（4） アンケート結果にみる原子力の社会的受容性

1） 我が国の事例

また、財団法人社会経済生産性本部におけるアンケート（参考文献[9]）もある。そのうち、原子力の社会的受容性に関する項目としては、表 3-11～表 3-12をあげる。

これをみると、原子力発電が必要である理由としては、「他のエネルギー源の開発が進んでいないから」(42.9%)、「現在の生活レベルを維持するため」(32.3%) と回答した人が多い。ただし、「炭素ガスの排出が少なく、地球温暖化防止のために有効であるから」(13.9%) という認識はあまり多いとはいえない。

一方、原子力発電が必要でない理由としては、「原子力に関する情報が十分に公開されていないと思うから」(44%) がもっとも多く、続いて「その他」(20.3%) が続いているが、「その他」には「安全性に問題があるから」「放射性廃棄物処理の問題が解決していないから」が含まれている。

表 3-11 原子力発電が必要である理由

原子力発電が必要である理由	割合
他のエネルギー源の開発が進んでいないから	42.9%
現在の生活レベルを維持するため	32.3%
炭素ガスの排出が少なく、地球温暖化防止のために有効であるから	13.9%
ウラン燃料は供給が安定しているから	6.7%
なんとなく	2.9%
その他	0.9%
無回答	0.4%

（備考） 経済生産性本部におけるアンケート（参考文献[9]）より抜粋

表 3-12 原子力発電が必要でない理由

原子力発電が必要でない理由	割合
情報が十分に公開されていない	44.9%
省エネルギーで電力需要を抑えればよい	19.5%
その他	20.3%
他のエネルギー源の開発が進んでいる	7.7%
従来のエネルギー源で十分まかなえる	2.9%
原子力発電はコストが高いから	2.7%
なんとなく	2.4%
無回答	0.5%

（備考） 経済生産性本部におけるアンケート（参考文献[9]）より抜粋

2） 米国での事例

米国では、原子力に対する公衆の態度を判断するための世論調査が頻繁に行われていた。参考文献[31]により紹介されている事例を表 3-13に示す。これらの結果は、米国では,公衆の7～8割は原子力は重要（非常に重要、幾分重要）であろうと考え、2～3割は重要でない（それほど重要でない、全く重要でない）と考えている。また、調査時点以後には原子力は重要なエネルギー源であると認識されていることがわかる。

表 3-13 米国における原子力世論調査例

調査機関（実施年）	設問	結果	
ギャラップ調査（1989）	今後、米国の電力需要を賄う上で、原子力発電所はどの程度重要になると思うか	非常に重要	45%
		幾分重要	34%
		それほど重要でない	10%
		全く重要でない	6%
		わからない	5%
TeleNation Market Facts（1989）	DOE の将来の国家エネルギー戦略において、原子力はどの程度重要な役割を果たすべきか	非常に重要	50%
		幾分重要	31%
		それほど重要でない	8%
		全く重要でない	8%
		わからない	3%
ケンブリッジレポート（1989）	米国の将来のエネルギー需要に応じるために、原子力はどれほど重要な役割を果たすべきか	非常に重要	38%
		幾分重要	31%
		それほど重要でない	13%
		全く重要でない	14%
		わからない	4%
ケンブリッジレポート（1989）	将来のエネルギー需要に応じるために、原子力発電所はどの程度重要になると思うか	非常に重要	50%
		幾分重要	27%
		それほど重要でない	10%
		全く重要でない	9%
		わからない	4%
ケンブリッジレポート（1989）	今から 10 年後に最も重要な発電のエネルギー源は何か、1つ答えてください	原子力	28%
		太陽エネルギー	18%
		水力	6%
		石炭	6%
		石油	6%
		その他	36%

四捨五入のため合計が必ずしも 100%にならない

これらの結果から、参考文献[31]では、米国民の大多数は、近い将来に原子力発電所が建設されても驚きや不快感を感じることはなく、原子力発電所を受け入れる用意があると結論している。

しかしながら、NIMBY 症候群についても指摘している。表 3-14に見られるように、自らの地域への立地に賛成とするのは2割に満たない。しかし、「判断を保留する」とした層が6割近かったことが、明るい材料であるとしている。これらの層は、判断のためにさらに多くの情報を待っているものと考えられる。

表 3-14　自分の地域への原子力建設の是非に関する調査結果

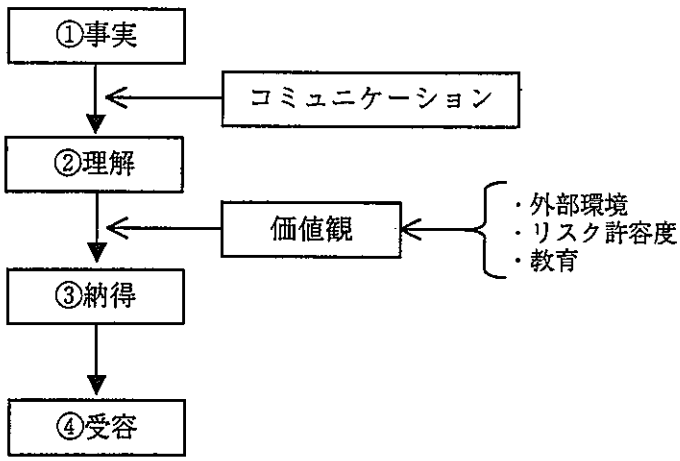
調査機関（実施年）	設問	結果	
ギャラップ調査（1989）	自分が住んでいる地域に原子力発電所が建設されるとしたら、どう反応するか	原子力発電所建設に賛成	17%
		原子力発電所建設に反対	23%
		判断を保留する	59%

四捨五入のため合計が必ずしも100%にならない

（5）　一般的な社会的受容のメカニズム

次に受容する一般的なメカニズムについて示す。社会的受容をはじめとして、いわゆる「受容」というものは、おおむね、図 3-18に示すようなメカニズムに従って、「事実」を、「理解」して、それを自分の価値観に照らして「納得」し、「受容」されるのが通常のケースであると考えられる。

図 3-18　受容に至る構図の概念



これを通常の原子力を受容した人に当てはめて一例を考えると次のようになる。

＜原子力受容のメカニズムの例①＞
・「事実」→　日本は資源小国であり原子力がないと輸入激増
（他の事実もあるが、例として上げる。）
・「理解」→　新聞や電力会社のＰＲによって理解
・「納得」→　資源を独自に持つべきという価値観に基づいて納得
・「受容」→　原子力を受容

＜原子力受容のメカニズムの例②＞
・「事実」→　原子力発電が必要であり、どこかに立地が必要
（他の事実もあるが、例として上げる。）
・「理解」→　新聞や電力会社のＰＲによって理解
・「納得」→　立地は必要だが、ＮＩＭＢＹ（自分の庭は困る）という価値観に基づいて納得しない。
・「受容」→　原子力（この場合は立地）を拒否

また、他にも「事実」自体が理解困難なほどに難しい場合には、次のような委任によって受容することも考えられる（→図 3-19)。特に、原子力や FBR サイクルなどの技術については、元来の日本ではこのような傾向が見られた[6]。すなわち、信頼できる主体にまかせておけば大丈夫だろうという考えである。

しかしながら、この大前提には委任対象の信頼性が高いことが不可欠である。FBR サイクルをはじめとした原子力政策の社会的受容性は、従来からこのメカニズムにしたがって受容されていた側面も強いが、残念ながら一連の不祥事などにより委任対象（原子力関連事業者）の信頼性がくずれ、結果的に原子力の社会的受容性が落ちたという側面も否定できない。

[6] 他にも国の経済政策などの官僚への委任、なども基本的にはこのメカニズムであろう。

図 3-19　事実が理解困難な場合の受容プロセス

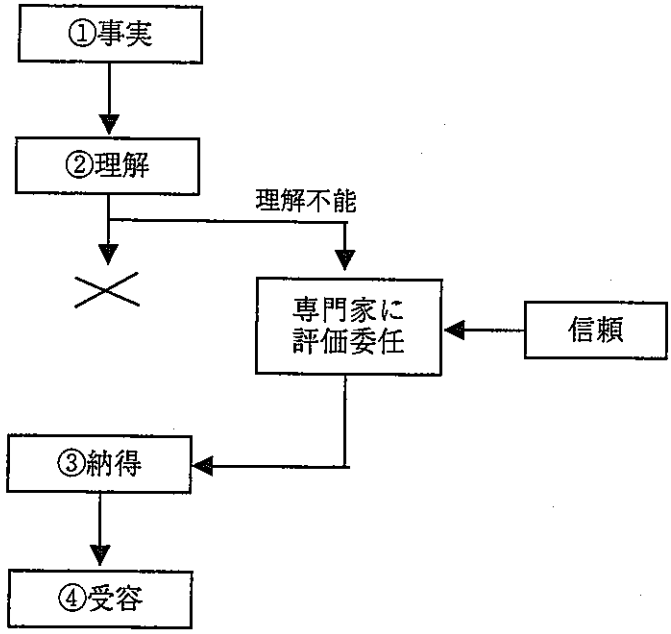


図 3-18のメカニズムを前提とすると、いま現在の日本において原子力の社会的受容のためになされている（もしくは必要であるといわれている）のは、まずは「理解」をすすめるための「コミュニケーション」の強化と、理解のうえに納得してもらえるような「価値観」部分への影響といえる。

・「コミュニケーション」の強化
　→　情報公開（事故情報、リスクコミュニケーションも含む）
　→　原子力の仕組みの広報
　→　日本の置かれた状況（資源輸入国、環境対策の必要性）の広報
・「価値観」の部分への影響
　→　原子力教育の推進（広報とも重複）

実際、社会経済生産性本部のアンケート（表 3-15）をみても、立地に関する社会的受容性を得るためには、コミュニケーションやＰＲ促進、意見交換といった機会をつくることが有効であるとの意見が多い。

表 3-15　原子力発電立地が国民や地域住民の合意を得て円滑に推進されるための方策

方　策　案	支持
既存の原子力発電所が安全運転の実績を着実に積み重ねる	92.7%
国や事業者がトラブルの有無に関わらず、日頃から積極的に情報を開示	90.6%
国は高レベル放射性廃棄物の処分について明確な結論を出す	88.2%
一般の国民への広報活動強化	85.2%
立地地域の住民が原子力立地の決定過程で意見を述べたり、参加する機会をつくる	76.4%
立地地域の自発的アイデア、個性を生かした地域振興を支援するような制度を充実	74.5%
一般の国民が原子力政策に対して意見を述べたり、政策決定に参加する機会をつくる	69.1%
以下、省略	-

（備考）社会経済生産性本部「原子力発電に関する有識者アンケート調査」（参考文献[9]）より抜粋

3.3.3 評価構造への取り込み方

では、評価構造（→図 3-1）のうちの、どのような形式で社会的受容という視点を取り込むことが適当であろうか。考え方としては、以下の（1）～（3）の3点が考えられる。

（1） 社会的受容性を評価運用上の手法として取り込む方法

前節で、社会的受容性の現状を概観したが、受容性が得られるための共通条件として、次の 2 点を挙げることができる。これらは、社会的受容性を評価する指標と言うよりは、むしろ、社会的受容性を高めるための手法であると言え、評価の視点として取り込むのではなく、運用上の手法として扱う形となる。

1） 住民参加

（立地などの）決定に関して各個人の意見が何らかの形で反映されており、それがわかりやすいこと

住民参加の最も直接的な例は住民投票であるが、その是非を論ずることは、間接民主主義についての議論、国レベルの政策と地方レベルの政策を同列に扱ってよいのかという議論を避けて通れず、「社会的受容性を評価に盛り込む検討」という趣旨から外れるため、これ以上は立ち入らない。

投票という直接的に是非を問う方法ではなくても、意識調査により意見や要望を収集するという方法も考えられる。しかしながら、集約した意見をどのように反映させるか、また、それをどのように説明するかという課題がある。最終的な決定には含まれていなくても、検討段階では反映されそれがなぜ棄却されたか、をわかりやすく示すことが必要であろう。意見、質問に対する回答書を示すだけでは不十分である。

電力会社による立地説明会は各地で行われているが、その形態は住民参加型というよりはむしろ、推進側-住民側対決型という色合いが濃い。

2） コミュニケーション

多方面（推進サイド、反対サイド）からの情報が十分かつ迅速に、さらにわかりやすい形で得られること

これは、単なる情報公開という意味合いではない。情報公開そのものは、これまでにもある程度なされている（一部、そうでなかった事例が大きく報道されているが）。しかしながら、原子力開発一般において、「情報公開」を求める声は依然として大きい。これは、情

報を公開しても伝わっていない部分が大きいことを示していると考えられ、その意味からも、情報公開だけでは十分なコミュニケーションが得られるわけでないことは明らかである。情報を十分に伝えるためには、次のような努力が必要となる。

・聞き手にわかりやすくする努力
　これは、原子力分野において既に行われている。

・聞き手が聞こうという姿勢にする努力
　これは、住民参加と関連が深い。自分が直接に関わっていないものは、情報が流れていても頭には残らない。意識調査を行った後、その結果をフィードバックする段階で情報伝達をするなどにより、聞き手の関心を高める努力が必要となる。

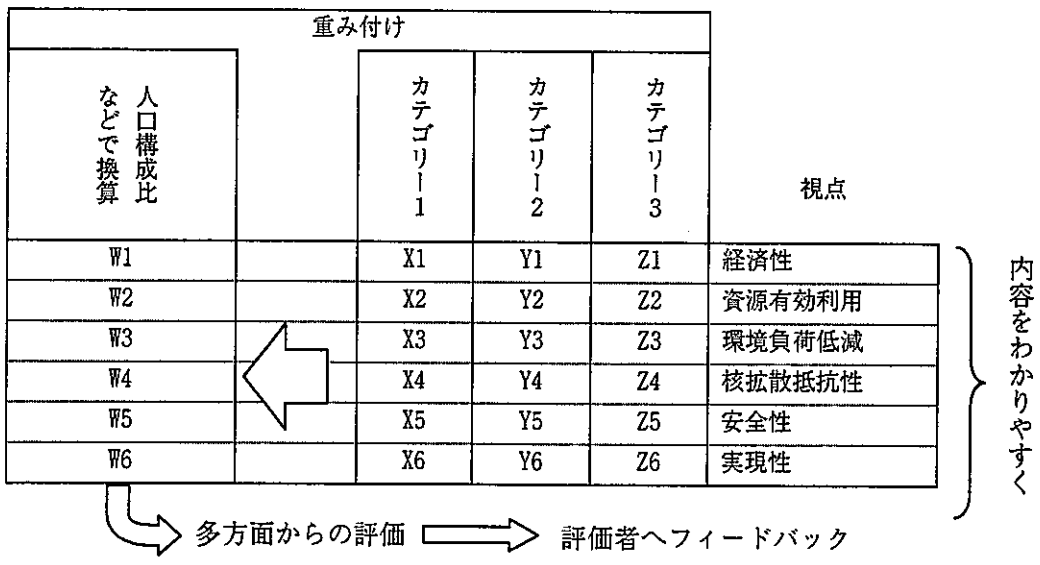
・聞き手が考えやすくする努力
　聞き手の関心が高まったとしても、情報が一面的であると、相手に思考を促す効果が小さい。そこで、同じテーマに対して多方面からの意見・評価を伝え、聞き手が意見を持ちやすくする努力が必要である。意識調査フィードバックの例では、調査結果の解釈を多方面から行う、等が考えられる。

住民参加、コミュニケーションといった手法の取り込み方の例とそのイメージを表 3-16
図 3-20に示す。

表 3-16　住民参加、コミュニケーションの取り込み方例

手法		取り込み方
住民参加	意見の反映	視点間重み付け結果をカテゴリー別に分類し、人口構成比をかけて合計することで最終評価とする。
	わかりやすさ	カテゴリー別の重み、また、その重みを用いた場合の評価結果を公表する。自分がどのカテゴリーに属するのかがわかるようにする。
コミュニケーション	わかりやすさ	評価構造を構成する各要素の言葉づかい、説明をわかりやすくする。表現上の問題。
	聞き手の受け入れ姿勢	重み付けをより多くの評価者に行ってもらい、参加意識を促す。結果のフィードバックなど。
	聞き手の思考への刺激	重み付け結果について、多方面の有識者から講評をもらう。その際、「そもそもこの評価自体が云々」といった意見以外で回答してもらうなどのルール作りが必要。具体的に、「ここをこうしていれば、このように変わったのではないか。」といった意見を集約し、公表する。その結果を見た後で、同じ評価者（講評する有識者ではなく重み付け評価者）に再度重み付けを行ってもらい、結果を比較することにより、思考への刺激のみならず、参加意識の高まりも期待できる。

図 3-20　住民参加、コミュニケーションの取り込み方イメージ

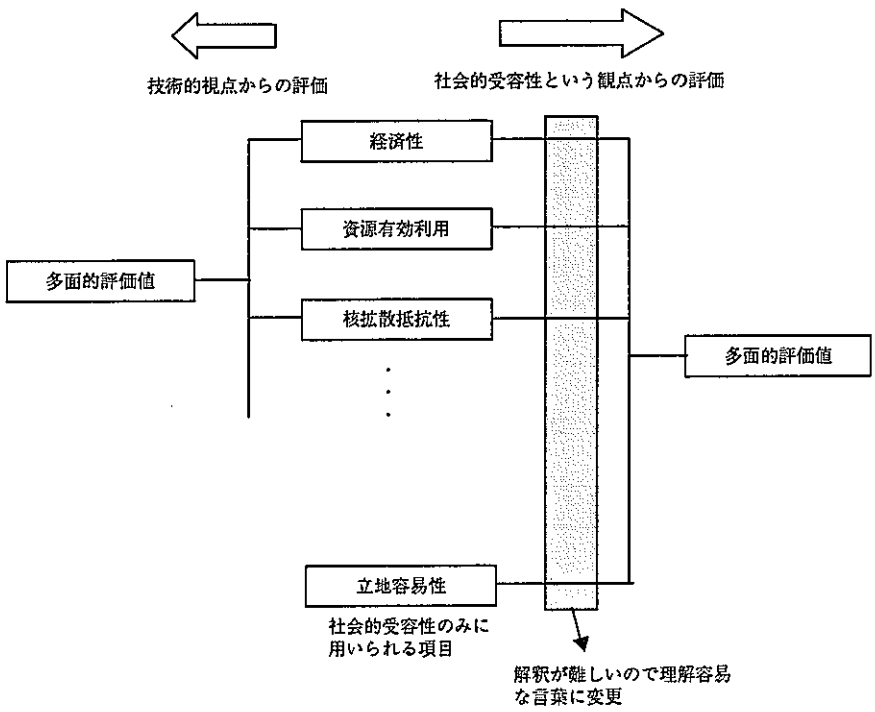


（2） 既存の視点を社会的受容性に活用していく方法

考えてみると社会的受容性単独の視点を作るのではなく、技術評価に用いられている視点自体のひとつひとつが社会的受容性の構成要素である。例えば、経済性、安全性、環境負荷低減、などはともに社会的受容性の第一歩であるといえる。そして、新たに加えるべき視点のみを追加してゆくという形式を取ればよいわけである。具体的なイメージを図3-21に示す。

また、技術評価の現段階では含まれていない指標で、社会的受容性を評価するために必要となるものがあれば、抽出していくこととなる。例えば、以下の図における評価視点例として挙げられている立地容易性などは従来の評価構造には取り込まれていないため、新たに加える必要がある項目である。

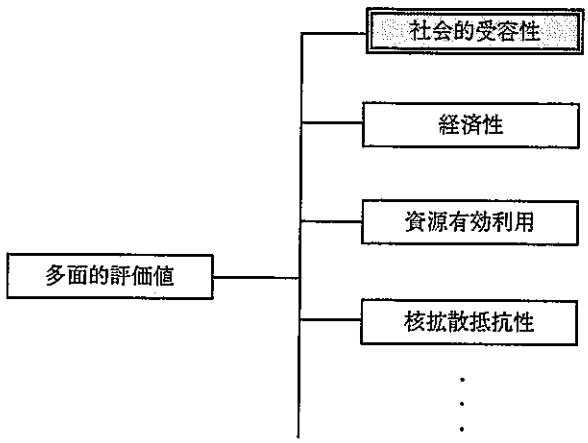
図 3-21 社会的受容性の取り込みイメージ（2）



（3） 社会的受容性を通常の評価視点と同じレベルに取り込む方法

経済性や資源有効利用などの他の評価視点と社会的受容性を同列に扱うというオーソドックスな形式である（→図 3-22)。この場合には、社会的受容性に対してウエイト（重み）がつくことになる。

図 3-22 社会的受容性の取り込みイメージ（3）



（4） 望ましい取り込み方

（1）は社会的受容性を高めるための手法であり、（2）（3）は FBR サイクルの実用化戦略案の社会的受容性を評価する方法である。本プロジェクトでは、社会的受容性を評価指標として加えることが目的であるため、（2）（3）の考え方のうち、どちらが望ましいかを検討する。結論としては、これだけ社会的受容性が盛んに唱えられている上では、（2）の取り込み方をすることが望ましいのではないかと思われる。理由としては以下が考えられる。

まず、第一に（3）案では、社会的受容性は、経済性や資源有効利用と同列に扱われているが、（2）案を採用することにより、他の評価視点よりも一段高い位置から評価しているため、何よりもまず社会的受容性を重視しているという姿勢も示すことができるからである。

第二に（3）案では、社会的受容性に対してもウエイトをつけなくてはならない。だが、経済性も社会的受容の第一歩であり、安全性向上もまた社会的受容の第一歩である。すなわち、社会的受容性はあらゆる多面的評価視点を総合していると考えてもよい。こう考えると、経済性などの他の視点と同列に扱う（3）案は不自然でもある。

第三に、社会的受容性を獲得するためにはリスクコミュニケーションの観点から間が手見ても、あらゆる立場に位置している人（立地住民、原子力技術者、電力会社、市民）からみても、自分の重視している項目（経済性、安全性、など）が評価視点として盛り込まれていると確認でき、また、それが選択された実用化戦略案においてどの程度と評価されているのか（経済性は高いのか、低いのか。安全性は高いのか、低いのか、近隣住民への影響は大きいのか小さいのか、等）、がわかりやすく把握できることが必要であろう。このように考えると、社会的受容性という評価視点を他の視点と同列に設けたとしても、それがどの対象にしたどういう項目を示すものなのかが分からないので意味がない。

3.3.4 社会的受容性取り込みの具体案

FBRの社会的受容性を高められるような「FBR実用化サイクル戦略案」を選択するために必要な具体案について以下で考察する。取り込み方のイメージとしては、(2)案を想定している。

これまでのPAに関する議論を総括するとFBRの社会的受容性を高めるためには、選択されたFBRサイクル実用化戦略案について

(1) コミュニケーションが取りやすいこと
　→ 理解がしやすいこと、わかりやすいこと、評価プロセスの明確性、など
　→ 自分が重視している評価視点が、どの程度と評価されているかわかること。
(2) 多くの人の価値観と合致すること
　→ 評価視点の項目やウエイトが人々の価値観と一致すること
(3) 住民参加がしやすいこと
　→ 評価における住民参加のみでなく、FBR利用においても熱利用等により周辺住民が身近に利用できること

ということがまずは必要であろう。

このことから考察すると、まずはコミュニケーションが取りやすいという点から考え、FBRサイクル実用化戦略案が、あらゆる立場の人々が誰でも理解しやすい形で示すことが必要であると考えられる。具体的には以下のようなポイントがわかりやすく示されている必要がある。

＜コミュニケーションのポイント＞
①どのような特徴（利点、欠点）をもっているのか、
　→自分の関心のある評価視点があるか。
　→自分の関心のある評価視点はどのような評価を得ているのか。
②それがどのような形で評価されているのか、
　→評価方法は適切か
　→評価者には自分と同じ立場の人々も含まれているのか
③評価視点のウエイトの人々との一致度合いが高いということ
　→社会的趨勢の意見が反映されている。
　→立地地域の人々の意見も反映されている

社会的受容性を多面的評価に取り込む具体的策について検討する。

（1） FBR サイクル実用化戦略案の特徴をわかりやすく示すこと

まず、これまでは、各技術タイプ別に効用関数で評価していた値を、さらにわかりやすく（例えば文章でわかりやすく示す、など）示すことにより社会的受容性を高めることが何よりも重要である。これは、変数などを設定して評価するということではなく、わかりやすく表示するというプロセスを多面的評価のプロセスとして取り込むということである。その際、その実用化戦略案がノーリスク・ハイリターンの電源ではなく、ある程度のリスクがあり（ハイリスク・ミドルリスク）ハイリターンであったとしてもわかりやすくそれを開示することが必要である。

（2） FBR の受容を求める対象の関心のある視点を示すこと

基本的には現在の評価視点（指標）をフィルターをかけて加工してわかりやすくすることにより多くの立場の人々が関心のある視点を作成してゆくことが、まず必要である。例えば、環境負荷低減に関する指標を、言葉を替えて、

・周辺への被害可能性
・水への被害可能性

などと分かりやすくすることである。

しかしながら、現在の評価視点には、社会のあらゆる立場（立地住民、原子力従事者、電力会社、など）からみた場合の視点として、欠けている点もある。むしろ、FBR 関連技術者から見た視点に偏っているともいえる。このため、他の立場に立つ人々の視点も通常の評価視点として加えてゆくべきである。このための具体的な視点案は3.3.5において別途検討するものとする。

（3） 評価視点のウエイトの人々との一致度合いが高いことが明確にわかること

最終的にいくつかの実用化戦略案を選択しなければいけないのであるから、評価視点の重み（すなわち、評価に用いられる価値観）つけが、大多数の国民の考えと一致しているということが求められる。そのために、ウエイト（重み）がアンケートなどを通じた国民の意思の値と一致しているということが必要であろう。この関係をうまく示す指標を作成することにより、実用化案の社会的受容性を評価することが必要ではないかと考えられる。

（4） 住民参加を行いやすいこと

先に、住民参加は受容性を高める 1 つの手法となりうることを述べたが、この手法に合致しやすい実用化戦略案であるか否かという評価指標も存在する可能性がある。例えば、

視覚的にインパクトが強い風力発電は、地元のランドマークとして地域が観光事業として（間接的にではあるが）参加することができるであろう。FBRにおいても、熱利用は温水利用と言う形で周辺住民が関わりをもつことができるものは、住民参加が行いやすいといえる。このような観点からの指標の検討も必要であろう。

3.3.5 FBRの受容を求める対象の関心のある視点の検討

3.3.4（2）において、FBRの受容を求める対象の関心のある視点を示すことが求められることを述べた。ここでは、そのための具体的な視点について検討する。まず、FBRの受容を求める対象を、その立場別に考えると以下が挙げられよう。

1）FBR発電所の立地住民 → 発電所を受け入れるという立場
2）納税者・国民 → 研究開発に関する投資家・費用負担者・受益者という立場
3）電力会社 → FBR発電事業を推進するという立場)
4）日本政府 → 国民をリードし国益を確保するという立場

以上の立場別に関心にあると考えられる項目を考えたところ以下のようになった。このうち、既存の評価構造においてデータの確保が可能である考えられる項目は※が付してある。その他は、基本的には新たに追加された項目である。

1）FBR発電所の立地住民
- 重大事故の発生確率
- 重大事故発生時の周辺への被害状況
- 重大事故発生時の影響減衰期間
- 重大事故発生時の子孫等への影響
- 軽微事故、トラブルの発生確率
- 軽微事故の被害状況
- 軽微事故の時間的影響（減衰期間）
- 危険物質の利用量、存在
- 見学の容易性（ランドマークとなりうるか）
- 情報開示の容易性
- 立地地域への雇用波及効果、経済波及効果の有無
- 廃熱利用の容易性

2）納税者・国民
- 新エネルギー投資と比較したときの効果の比較
- 技術的実現性（※）

・実現時の技術的インパクト、効果
・実現時期
・経済全体への波及効果の有無
・技術の波及効果の有無
・電源としての経済性（※）
・廃棄物等の時間的な管理の長さ
・廃棄物管理の容易性

3）電力会社
・初期投資金額（投資リスクの大きさ）
・メンテナンス容易性
・イメージ
・事故停止量（軽微事故も含む）の多さ
・事故停止時の復旧期間
・燃料調達の容易性
・燃料貯蔵の容易性
・プラント廃止時の廃棄容易性
・廃棄物の管理容易性
・立地地域との交渉容易性
・プラントとの制御容易性
・技術としての新規性

4）日本政府
・エネルギーセキュリティの確保が可能か否か
・自主電源確保にどれだけ貢献しうるか
・技術的実現性（※）
・国民的理解の得やすさ

以上の項目について、各技術体タイプ別になんらかの評点表示を行い、関心のある層に対して情報開示することが求められよう。

3.3.6 社会的受容性の取り込み方に関するまとめ

以上の議論をまとめると以下のようになる。

① FBRの社会的受容性を高めるためには、選択されるFBR実用化戦略案が社会的に受容される必要がある。このため、多面的評価に社会的受容性といった観点を盛り込むこと

は適当である。

② 社会的受容性を経済性など他の視点と同列に扱うことは適当ではない。むしろ、技術的評価に追加する形で、社会的受容性評価を行うことが適当であろう。その場合、評価の際に共通する指標・データは同じものを用いても良い。すなわち、技術的評価と社会的評価が合致する形での技術選択が望まれるわけである。

③ 具体的には既存研究等により、

・FBR 実用化戦略案に関してのコミュニケーションをはかること、

・多様な価値観をもつ人々が自分の関心のある視点の評価ポイントがわかること、
（立場別の視点を考慮して、それぞれの得点を示すこと）

・最終的に選択された案が受容を求める対象の価値感と一致していること、

・住民参加がしやすいこと

が必要であると考えられる。

4. 評価視点の重要度評価の実施

4.1 重要度評価の手法

平成11年度には、一対比較法を行った上で、直接評価法も実施した。評価結果としては、一対比較法を用いたが、両者のうち評価者本人の実感により一致する結果を選ぶ、などの方法も検討する余地がある。特に、一対比較法を用いたときになかなか整合性が得られない場合には、直接評価法を用いる方が現実的であるとも考えられる。

(1) 直接評価法

評価者が、全ての評価視点に重要度に応じて点数をつける。平成11年度の仮実施では、下に示すようなアンケート票を用いて、各視点を重視する程度を全体が100%となるようにパーセンテージで表示するという方法で実施した。

図 4-1 直接評価法のアンケート票（平成11年度報告書より再掲）

アンケート票

各視点を重視する程度を、全体が100%となるようにﾊﾟｰｾﾝﾃｰｼﾞで表してください。

視点	この欄にご記入ください	例
経済性	%	20%
資源有効利用性	%	20%

（2） 一対比較法

AHP（階層化意思決定法）に用いられる一対比較法であり、平成 11 年度の仮実施では、下記のようなアンケート票により実施した。

図 4-2 一対比較のアンケート票（平成 11 年度報告書より再掲）

アンケート票

項目 1 と項目 2 を比較し、どちらがどの程度重要であるか該当する欄に○を記してください。

項目 1	きわめて重要	かなり重要	重要	やや重要	同程度	やや重要	重要	かなり重要	きわめて重要	項目 2
経済性										資源有効利用性
経済性										核拡散抵抗性

4.2 複数の評価者による重要度評価

(1) 一対比較値平均

一対比較値そのものを平均化する手法である。すなわち、図 4-2において、各評価者の経済性と資源有効利用性の一対比較値をとりまとめ、その平均をとる。一対比較値は 1/9～9 といった数値で表されるため、平均値としては幾何平均を用いるということに注意を要する。また、整合性を得られていない一対比較結果が混入することで、全体の整合度も低下する。

(2) 重み値平均

各評価者が一対比較や直接評価法によって視点間の重み付け作業を終えた後、その重み値について平均値をとる方法である。平成 11 年度にはこの手法を用いて仮評価を行った。評価者（12 人）間のばらつきが非常に大きく、安全性に高い重みがつけられたほかは、ほとんどが同等の重み値平均となった。評価者の数がさらに増すことにより、視点ごとの重みに差がつかなくなる傾向が予想される。

(3) 中央値

各評価者による評価値の分布が離散的である場合、その平均値は実際には観測されていない評価値になる可能性がある。そのような場合には、平均値よりも中央値（メディアン）を用いるほうが適当との考え方もある。平成 11 年度仮実施結果における経済性の評価値を例にとると、平均値は 15%であったのに対し、中央値は

12%（大きい順で 6 番目のデータ）+7%（同 7 番目のデータ）／2 ＝ 9.5%

となる。

(4) オリンピック方式

一対比較平均、または重み値平均を用いるに際し、最高点と最低点を削除して算出する手法を、ここでオリンピック方式と呼称する。この方式には、極端に偏った評価結果に平均値が引っ張られないようにする効果がある。ただし、評価者数が多い場合にはその効果は小さくなる。上と同様に、平成 11 年度の経済性に対する重み付け結果では、最高／最低が 1 人だけ突出している分布ではないため、オリンピック平均は 14%となり、(2) により平均値 15%と大きな差はない。

（5） 最有利法・最不利法

最有利法とは、ウェイトを固定せずに可変であるとするものである。いくつかの条件の下に総合評価値が最大（または最小）となるようにウェイトを決定する。すなわち、対象とする候補にとって最も有利となるようなウェイト付けを行い、その値を総合評価値とするものである。最不利法はその逆であり、それぞれの候補にとって最も不利となるようなウェイト付けを行うものである。

ここでは、簡単のため、二つの候補（A,B）の優劣を二つの視点（視点１、視点２）から総合評価することを考える。視点１，２に与えられた得点は表 4-1のとおりであるとする。

表 4-1 候補A,Bに与えられた視点１，２に関する得点（最有利法・最不利法説明）

視点 / 候補	視点１	視点２
A	0.8	0.2
B	0.3	0.7

本手法では、まず、評価値へのウェイトを可変とする考え方をとる。すなわち、視点１，２のウェイトをW1、W2を、候補Aの総合評価値

$$0.8\ W1\ +\ 0.2\ W2$$

が最大になるように決定する。ただし、他の候補（B）についても同じウェイトで評価を行い、その値が１を超えないように制限する。こうして、候補Aの評価を次の最適化問題を解くことに帰着させる。

$$\begin{aligned} &\text{Max} && 0.8\ W1\ +\ 0.2\ W2 \\ &\text{Subject to} \\ &&& 0.8\ W1\ +\ 0.3\ W2\ <\ 1 && \text{条件１} \\ &&& 0.3\ W1\ +\ 0.7\ W2\ <\ 1 && \text{条件２} \end{aligned}$$

複数の評価者の結果を反映させる方法は、以下のように行う。三人の評価者(a～c)が重み付けした結果が表 4-2のようであったとする。

表 4-2 重み付け例（最有利法・最不利法説明）

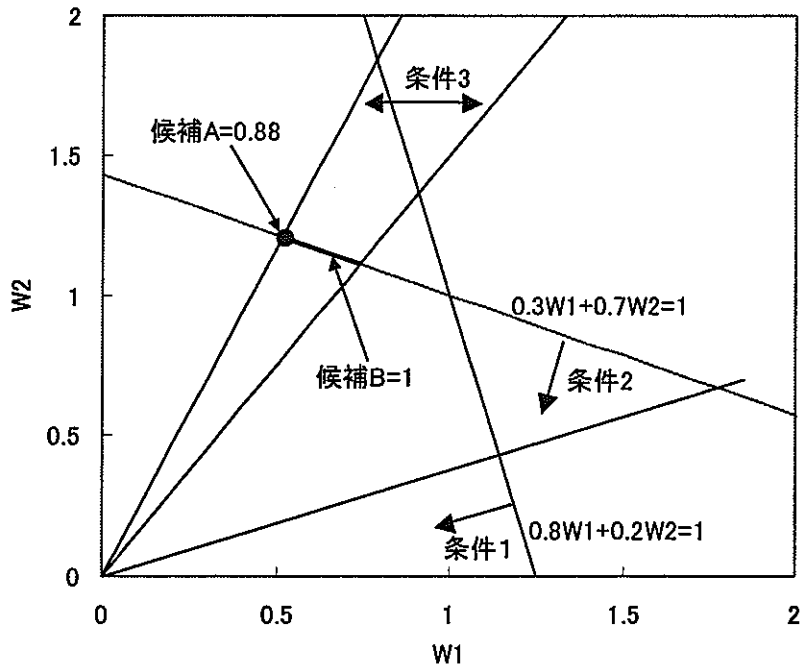
	W1	W2
評価者a	30%	70%
評価者b	40%	60%
評価者c	55%	65%

この結果から、W1 と W2 の比（W2／W1）の上限と下限をとり、W2／W1 がその範囲に存在するという条件を付加する。すなわち、

$$3/2 < W2/W1 < 7/3 \qquad \text{条件 3}$$

を先ほどの制約式に付加する。この例では、候補が最高で 0.88、候補 B が最高で 1 を得点できることになり、候補 B が優位であるという結論となる（図 4-3）。

図 4-3　最有利法の説明図



この手法は、評価者の数が増すと計算量が膨大となる。また、評価のわかりやすさ・透明性という観点からは、他の手法に劣ると思われる。また、評価者の数が増すと、条件 3 が緩くなり、多くの候補が満点を取れることになる（例えば、条件 3 の最下部が図中の点線になった場合）こともデメリットである。

複数の評価者による重要度評価の実施手法には上記のようなものがあるが、これらはいずれも、評価者の数が多くなると弱点が露呈する。これら弱点のうち、「わかりやすさ」、「透明性」に関わるものを表中に太字で示した（一対比較平均、中央値、最有利法、最不利法）。また、オリンピック方式は、評価者数が多ければ平均値法と大差がない。以上より、

重み値平均を用いることが現実的であると考えられるが、平成11年度にも指摘したように、その運用には工夫（評価者を属性ごとに分けるなど）を要する。

表 4-3　複数評価者による重み付け手法の弱点

手法	評価者の数が増した場合に考えられる弱点
一対比較値平均	・多くの対において、「同程度（＝1）」に近い平均値となる可能性がある ・全体の**整合度が得られない**可能性がある ・（平均すべき項目が非常に多数となる） ・直接評価法の結果は反映されない
重み値平均	・視点ごとの重み値に差がつかなくなる可能性がある
中央値	・複数の峰ができるような分布となった場合には、**いくつかの峰が無視される**可能性がある
オリンピック方式	・評価者の数が少ないときに効果を発揮し、多い場合には平均値と大きな違いがなくなる
最有利法・最不利法	・さまざまな評価結果が存在することにより、計算上の制約条件が緩くなり、差がつきにくくなる可能性がある ・計算量が膨大となる ・**分かりにくい**

5. 機能追加に関する検討

本章では、前年度に開発した評価システムに以下の機能を追加することを検討する。

1）設計情報の不確かさに対する対応と評価結果への反映に関する考え方の追加。
2）評価対象である FBR サイクルシステムの潜在的能力（可能性）を評価の観点に盛り込む考え方の追加。
3）定性的属性での相対的点数評価の絶対的点数評価への換算法の検討。

5.1 設計情報の不確かさに対する対応方法

設計情報は、あくまでも誤差を伴うものである。このため、ある程度の統計的処理を行って、その不確かさ（信憑性）を検証する必要がある。この場合、以下の２つのケースにわけて検討を行う。

5.1.1 設計情報の幅（分布状況）が設定できる場合

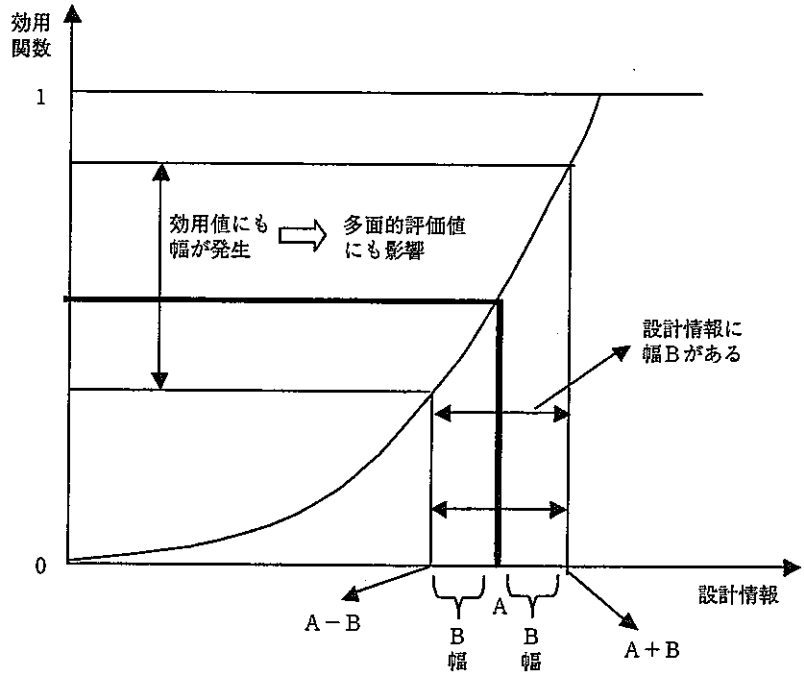
それぞれの設計値の分布の幅（標準偏差：ただし、分布が正規分布であることを仮定する）に、各指標のウエイトをかけあわせれば、各プラントタイプ別の多面的評価値の幅（分布状況、標準偏差）を得ることが出来るはずである。この多面的評価値の幅が比較的大きければ、多面的評価値の値が、設計情報の不確かさに起因して信憑性が低い（分布が大きい）ことを意味することになる。一方、分布が小さければ設計情報の不確かさに起因する多面的評価のぶれは小さいことを意味する。なお、ここでは設計値に関する情報が不確かな場合、すなわち効用関数でみれば横軸にずれる幅を意味する。(→図 5-1を参照)

すなわち、本システムでは設計値の幅の入力が可能な場合、すなわち分布がある程度把握できるばあいに多面的評価値にも幅が持てるようなシステムとすることを考える。具体的には以下のステップで信憑性（多面的評価値の幅）を計算するものとする。

＜計算ステップ＞

① 設計値に関する幅（分布状況）を入力
　→図 5-1におけるＢ（設計情報の幅）に関する情報を入力
　→Ｂの形式としては、推計された設計値に対する幅を確率 90％の範囲で上下Ｘ％に収まるという形のＸを入力するという形ととる。
②上位推計（上方値への誤差）を実施する。
　→各設計値の上位値を元にして多面的評価値を計算する。
③下位推計（下方値への誤差）を実施する。
　→各設計値の下位値を元にして多面的評価値を計算する。
④多面的評価値および上位方向・下位方向への幅を示す。

図 5-1　設計情報の幅と効用値・多面的評価値への影響のイメージ



5.1.2 設計情報の幅がまったく設定できない場合

もし、設計情報が不確かであることがわかっていても、それがどのような幅となるか分からなければ、残念ながら設計情報の不確かさを多面的評価値に反映することは困難であるといわざるを得ない。仮に強引な手法を用いて、指標を作ったとしてもそれは社会的受容性を得られた指標とはならないだろう。

5.2 潜在的能力（可能性）を評価

5.2.1 純粋なる潜在力の評価

潜在能力とは、ある意味では5.1で検討した設計情報の不確かさに起因するものである。しかし、このような潜在能力を用いた多面的評価値を計算することは比較的やさしい。すなわち、その潜在能力を発揮できる設計情報を多面的評価における入力値として用いてたんたんと多面的評価値を計算すればよいわけである。これが、そのプラントの潜在力を反映した場合の多面的評価値となる。ただし、ここではその潜在能力の実現可能性は考慮されていない。しかし、潜在力とはそもそも実現可能性を考慮しないものであると考えられる。

5.2.2 実現確率を利用した潜在力評価

また、他にも潜在的な能力がなんらかの数値で示されるのならば、それに実現確率を掛け合わせて、潜在的能力を求める方法もある。例えば、潜在力とは実現確率 20%程度で、かつ性能が優れた技術であると定義した場合には以下のようになる。

①技術的水準A → 技術実現確率２０％（確率が低いので潜在力に等しい）
②技術的水準B → 技術実現確率６０％（もっとも実現可能性が高い技術レベル）
③技術的水準C → 技術実現確率２０％（失敗しても達成しそうな技術レベル）

この場合、技術レベルとしては
A×0.2+B×0.6+C×0.2 ＝ 潜在能力を含む技術レベル
とみなすことができる。

しかしながら、この方法だと技術実現確率を規定することが困難となるである可能性が高い。また、実際の潜在力を発揮した場合の多面的評価値が得られない。このため、技術実現確率を３ケース程度に規格化し、それぞれで達成できそうな技術レベルを用いることが現実的となる。

5.3 ＡＨＰの拡張に関する検討

5.3.1 従来型ＡＨＰに関する問題点

平成11年度に検討したような形の従来型ＡＨＰでは、実際に運用する上での以下に示すような問題が指摘できる。

表 5-1　従来型ＡＨＰ実施時の問題点として指摘されている点

①代替案が追加されたとき、もう一度、最初から一対評価をやり直さなければならない。 ②代替案が追加されたとき、代替案の評価順位が逆転されることがある。 ③代替案の数が多くなると、一対比較の数が極めて多くなり、一度に一対評価を行うことが困難になる上、整合性が悪くなる傾向にもある。

そこで、以上の問題を克服するべく、さまざまな形のＡＨＰが開発・研究されている[7]が、そのひとつが「絶対評価法」である。これは、あるひとつの支配的なプラントタイプ（たとえば「もんじゅ」）を基準として、各視点おいて他のプラントタイプとの一対評価することからはじまる。

この結果、一対評価の数はプラント数Ｎとした場合、Ｎ－１となり格段に一対評価の数が少なくなる。また、代替案（選択肢）が追加された場合でも、その追加選択肢と基準代替案（選択肢）との一対比較のみを行えばよい。これにより通常タイプのＡＨＰの抱える問題点が解消されることとなる。

多面的評価システムにおいては、
１）各評価視点のウエイト（重み）の決定
２）定量化不可能な指標についての優劣決定
という２つの目的のもとで、それぞれＡＨＰを行っている。このうち、１）については何らかの基準となる視点（経済性など）、２）については基準となるシステム（例えば「もんじゅ」など）、を決めることにより同方式を実施することができる。

5.3.2 各評価視点のウエイト決定法の改良

具体的に、各評価視点のウエイト（重み）の決定の際のＡＨＰを絶対評価的な手法で行う場合、最大の問題となるのがどの視点を規準とするかであろう。ただ、ＦＢＲサイクル

[7] ＡＨＰの拡張版に関する理論と応用に関する議題としては、木下栄蔵編「ＡＨＰの理論と実際」（参考文献[6]）などを参照。

の多面的評価システムの場合には、経済性という視点が主要なものであるので、これを規準とすることが１番理解を得やすいと考えられる。しかし、同方式を用いても、今後、視点数が確定した場合には、もはや絶対評価法をもちいる必要はなく、従来型ＡＨＰでも十分であるし、むしろそちらの方が望ましい。このため、各評価視点のウエイト決定のためのＡＨＰに絶対評価的手法を用いることは、今後、視点が変更する可能性も踏まえて検討する必要があるだろう。

5.3.3 定量化不可能な指標についての評価法の改良

次に２）定量化不可能な指標についての優劣決定、の際の絶対評価法の具体的な方法を検討する。各視点・指標に対応する設計情報を定量的な値で示せることが望ましいが、指標によっては定量化が困難である場合もある。また、この場合、比較検討するシステムが大量になった場合には一対評価すること自体が困難となる。このような場合であっても、何らかの近似的な手法を用いて、視点のもたらす影響を多面的評価に盛り込むことが重要であることは言うまでもない。

そのためには、上記で検討したような絶対評価法の考えを用いて、ある基準システムをもとに、そのシステムよりも

・優れている
・やや優れている
・同程度
・やや劣っている
・劣っている

というような評点法で評価してゆくことが有用である。今回、構築した多面的評価システムにおいては、設計情報の定量化不可能な指標については、以下のような手順で評価を行っていくものとする。、これにより、定量的評価の際に生じたものと同様の問題（→表 5-1）を回避しつつ、定量化することが可能となる。

＜定量化不可能な指標の評価手順＞

①基準システムを決定する。
②定量化不可能な指標について、基準システムをもとにした絶対評価を行う。ただし、その際の評点（基準システムの効用値は 0.5、やや優れている場合は 0.75、など）はあらかじめ定めておく。
③求められた効用値をもとにして多面的評価システムに盛り込む

6. FBR サイクルシステムに対する予備評価の実施

6.1 利用データ

2001 年 2 月時点[8]で収集できたデータを用いて、多面的評価値を計算した結果を以下に示す。なお、評価視点としては収集データの都合上、経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、の３つの指標であり、それ以外の視点については予備的評価では取り除いた。このため、この評価はあくまでも現時点（2001 年 2 月）での暫定的な評価結果であることに留意する必要がある。評価対象システム、および評価に用いたデータ自体は収集できたデータとしては表 6-2～表 6-4に示すとおりである。

6.2 計算の前提条件

予備的評価の計算で用いた効用関数の係数、満足値等の前提条件は表 6-1に示すとおりである。なお、視点間のウエイト付けには、今回の暫定評価ではすべて均等に配賦した（すなわち、視点が２つなら 0.5 ずつ）。

表 6-1　計算の前提条件

	経済性	資源有効利用性		環境負荷低減性			
	発電原価	ウラン利用効率	ウラン累積需要量	廃棄物発生量	廃棄物面積換算	潜在毒性	放出被ばく
＜満足値＞							
最低	6.5	7	154	1	1	1	50
中間	4.3	30	40	0.1	0.1	1E-02	5
最大	3.1	100	20	0.01	0.01	1E-05	1
＜効用関数の係数＞　Y=a-b*exp(-c*X)							
a	-0.401	1.0918	-0.0104	-0.0004912	-0.0004912	0	-0.0002059
b	-4.381751	1.3155	-2.0002	-1.081	-1.081	-1.000	-1.189
c	0.368	0.0266	0.0341	7.696	7.696	69.315	0.173

[8] 本プロジェクトの納期が 2001 年 2 月 28 日であるため、その時点で収集できた設計値を用いて計算したものである。もちろん、今後、さらにデータが収集されてゆくにつれてさらにより多くの、かつより正確な評価を行えるものと考えられる。

表 6-2　ＦＢＲサイクルの技術タイプ（1）

No.	FBR	炉心		再処理	燃料製造	評価ケースのねらい
		形態	組成			
A-1	NLL	NORL		OADS/200P	OLSP/200	レファレンス組合せ
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 径方向非均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 先進湿式法	酸化物燃料 低除染 簡素化ペレット法	
A-2	NLL	NODL		OADS/200P	OLSP/200	酸化物燃料の径方向非均質炉心と均質炉心の比較
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 ダクト付均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 先進湿式法	酸化物燃料 低除染 簡素化ペレット法	
A-3	NLL	NORL/HD		OPRX/200	OHSP/200	低除染・TRU燃焼の将来燃料サイクルと従来の燃料サイクルとの比較
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 径方向非均質炉心	高除染 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 PUREX法	酸化物燃料 高除染(GB製造) 簡素化ペレット法	
B-1	NLL	NORL		OADS/200V	OOGV/200	先進湿式法に対応した振動充填燃料製造法の影響
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 径方向非均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 先進湿式法	酸化物燃料 外部ゲル化 振動充填法	
B-2	NLL	NORL		OXP/50	OPV/50	燃料サイクルに酸化物電解法を採用したケース
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 径方向非均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 酸化物電解法	酸化物燃料 振動充填法	
B-3	NLL	NORL		OMTP/50	OMGV/50	燃料サイクルに金属電解法を採用したケース
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 径方向非均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 金属電解法	酸化物燃料 転動造粒 振動充填法	
B-4	NLL	NORL		OFLO/50	OFBV/50	燃料サイクルにフッ化物揮発法を採用したケース
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 径方向非均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 フッ化物揮発法	酸化物燃料 流動床 振動充填法	
C-1	NLL	NMHL		MTP/50	MIC/50	金属燃料サイクルのケース
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 金属燃料 均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	金属燃料 金属電解法	金属燃料 射出成型法	
D-1	NLL	NORL/UL		OXP/50	OPV/50	MA装荷炉心の比較ケース (高燃焼度UO_2-LWR燃料組成)
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 径方向非均質炉心	低除染(FP: 2vol%) TRU燃焼 高燃焼度UO_2-LWR燃料	酸化物燃料 酸化物電解法	酸化物燃料 振動充填法	
D-2	NLL	NORL/ML		OXP/50	OPV/50	MA装荷炉心の比較ケース (高燃焼度MOX-LWR燃料組成)
	ナトリウム冷却 ループタイプ 大型炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 径方向非均質炉心	低除染(FP: 2vol%) TRU燃焼 高燃焼度MOX-LWR燃料	酸化物燃料 酸化物電解法	酸化物燃料 振動充填法	
E-1	NLM	NORM		OADS/200P	OLSP/200	モジュール炉のレファレンスケース
	ナトリウム冷却 ループタイプ 中型モジュール炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 径方向非均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 先進湿式法	酸化物燃料 低除染 簡素化ペレット法	
E-2	NLM	NOHM		OADS/200P	OLSP/200	酸化物燃料の径方向非均質炉心と均質炉心の比較
	ナトリウム冷却 ループタイプ 中型モジュール炉	ナトリウム冷却 酸化物燃料 均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 先進湿式法	酸化物燃料 低除染 簡素化ペレット法	
E-3	NLM	NMHM		MTP/50	MIC/50	S-PRISMと比較するモジュール炉の金属炉心のケース
	ナトリウム冷却 ループタイプ 中型モジュール炉	ナトリウム冷却 金属燃料 均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	金属燃料 金属電解法	金属燃料 射出成型法	

表 6-3　ＦＢＲサイクルの技術タイプ（２）

No.	FBR	炉心		再処理	燃料製造	評価ケースのねらい
		形態	組成			
F-1	PTM	PNHM		NADS/200	NLSP/200	Pb-Bi炉（二次系削除、自然循環冷却）のレファレンスケース
	鉛ビスマス冷却 タンクタイプ 中型モジュール炉	鉛ビスマス冷却 窒化物燃料 均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	窒化物燃料 先進湿式法	窒化物燃料 低除染 簡素化ペレット法	
F-2	PTM	PNHM		MTP/50	NMGV/50	窒化物燃料サイクルの比較ケース
	鉛ビスマス冷却 タンクタイプ 中型モジュール炉	鉛ビスマス冷却 窒化物燃料 均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	窒化物燃料 金属電解法	窒化物燃料 振動充填法	
G-1	CL	COHL		OADS/200P	OLSP/50	酸化物燃料炭酸ガス炉のケース
	炭酸ガス冷却 大型炉	炭酸ガス冷却 酸化物燃料 均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	酸化物燃料 先進湿式法	酸化物燃料 低除染 簡素化ペレット法	
G-2	CL	CNHL		NADS/200	NLSP/200	窒化物炭酸ガス炉のケース（酸化物燃料との比較）
	炭酸ガス冷却 大型炉	炭酸ガス冷却 窒化物燃料 均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	窒化物燃料 先進湿式法	窒化物燃料 低除染 簡素化ペレット法	
H-1	HL	HNHL		NADS/200	NLSP/200	ヘリウムガス炉のレファレンスケース
	ヘリウム冷却 大型炉	ヘリウム冷却 窒化物燃料 均質炉心	低除染 TRU燃焼 高速炉多重リサイクル	窒化物燃料 先進湿式法	窒化物燃料 低除染 簡素化ペレット法	

表 6-4　各視点を示す設計データ

	経済性	資源有効利用性		環境負荷低減性			
	発電原価	ウラン 利用効率	ウラン累積 需要量	廃棄物発生 量	廃棄物 面積換算	潜在 毒性	放出 被ばく
A-1	3.42909	0.94102	72.33551	0.05955	0.02106	0.01406	3.62291
A-2	3.21955	0.95324	72.33551	0.05525	0.02061	0.01172	3.61539
A-3	3.65487	0.65292	72.33551	0.09044	0.05155	0.98963	3.62291
B-1	3.47225	0.94102	72.33551	0.05806	0.02150	0.01406	3.62291
B-2	3.93639	0.94119	72.33551	0.06262	0.02593	0.01940	4.52748
B-3	4.09135	0.85956	72.33551	0.04299	0.03153	0.03153	4.55063
B-4	3.74321	0.97114	72.33551	0.04956	0.02129	0.01352	12.30748
C-1	3.62887	0.87329	72.33551	0.04351	0.02018	0.03407	4.62656
D-1	3.93628	0.94119	72.33551	0.06262	0.02593	0.01940	4.52748
D-2	3.93639	0.94119	72.33551	0.06262	0.02593	0.01940	4.52748
E-1	4.08488	0.93840	72.33551	0.06050	0.02111	0.01440	3.62240
E-2	3.99068	0.94430	72.33551	0.05835	0.02101	0.01285	3.61959
E-3	4.30547	0.87129	72.33551	0.04224	0.01984	0.04440	4.52016
F-1	5.07114	0.94244	98.40651	0.06528	0.02336	0.01265	3.56653
F-2	5.83490	0.89579	99.44935	0.04887	0.01898	0.06034	4.06237
G-1	4.37395	0.95526	78.59255	0.06021	0.02193	0.01225	4.72504
G-2	4.45364	0.95690	72.33551	0.05975	0.02208	0.00904	4.68728
H-1	3.75837	0.94765	77.54971	0.05322	0.01948	0.01027	5.03130

6.3 計算結果

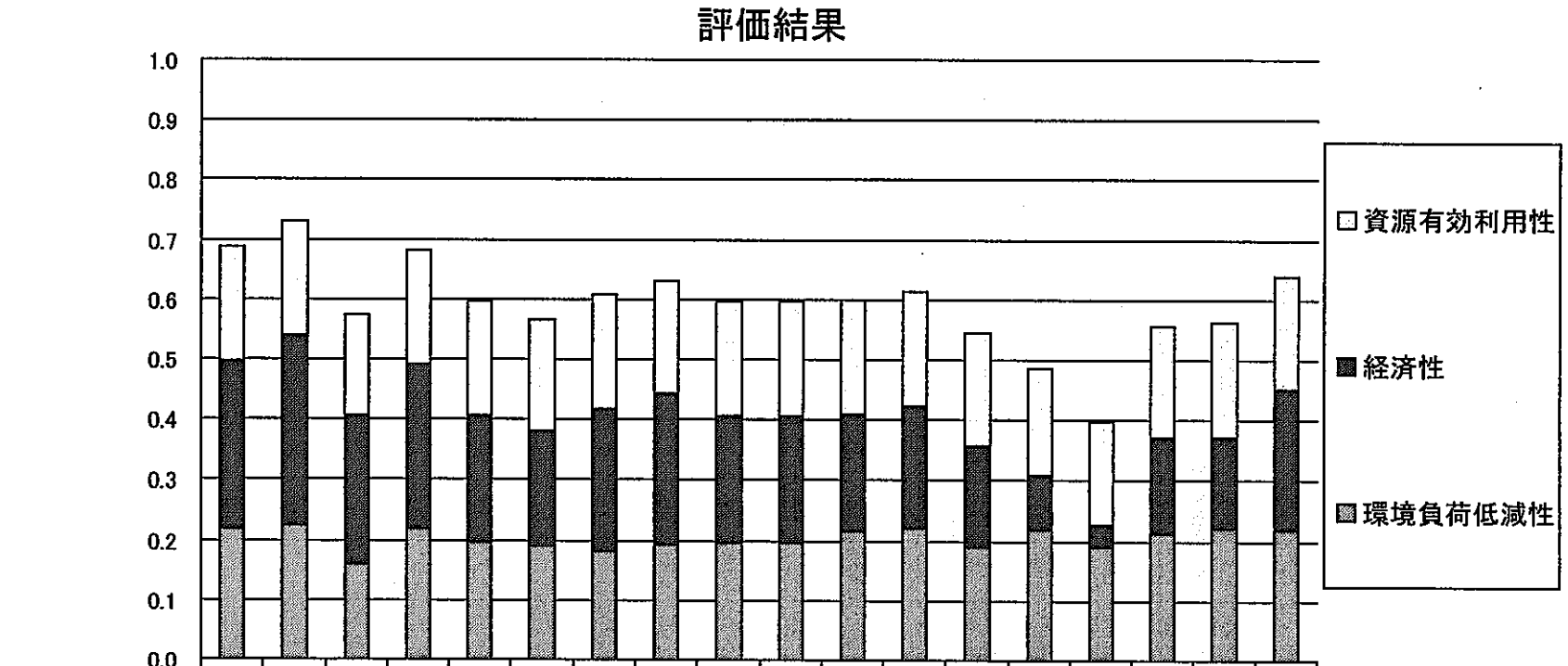
本調査研究で構築した多面的評価システムを用いて多面的評価値（暫定値）を示したものが表 6-5である。もっとも高い総合評価値を獲得したのは、Ａ２タイプのＦＢＲサイクルであった。これは環境負荷低減性、経済性でトップとなっていることが大きな要因である。

なお、システム自体には、各システムの潜在性や設計情報の幅を取り込む機能は盛り込まれているものの、収集データの関係上、これらの計算値については計算していない。

表 6-5　多面的評価値の暫定値

技術タイプ	総合評価値	環境負荷低減性	経済性	資源有効利用性
A-1	0.6886	0.2180	0.2801	0.1905
A-2	0.7302	0.2258	0.3132	0.1911
A-3	0.5753	0.1583	0.2471	0.1699
B-1	0.6825	0.2184	0.2736	0.1905
B-2	0.5966	0.1964	0.2097	0.1905
B-3	0.5665	0.1897	0.1906	0.1862
B-4	0.6093	0.1825	0.2349	0.1919
C-1	0.6316	0.1938	0.2508	0.1870
D-1	0.5966	0.1964	0.2097	0.1905
D-2	0.5966	0.1964	0.2097	0.1905
E-1	0.5986	0.2168	0.1914	0.1904
E-2	0.6149	0.2214	0.2029	0.1907
E-3	0.5444	0.1914	0.1661	0.1869
F-1	0.4844	0.2180	0.0925	0.1740
F-2	0.3981	0.1898	0.0371	0.1712
G-1	0.5566	0.2122	0.1586	0.1858
G-2	0.5630	0.2216	0.1502	0.1913
H-1	0.6390	0.2198	0.2329	0.1862

図 6-1　多面的評価値の暫定値



	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	D-1	D-2	E-1	E-2	E-3	F-1	F-2	G-1	G-2	H-1
□資源有効利用性	0.191	0.191	0.17	0.191	0.191	0.186	0.192	0.187	0.191	0.191	0.19	0.191	0.187	0.174	0.171	0.186	0.191	0.186
■経済性	0.28	0.313	0.247	0.274	0.21	0.191	0.235	0.251	0.21	0.21	0.191	0.203	0.166	9.	3.	0.159	0.15	0.233
▨環境負荷低減性	0.218	0.226	0.158	0.218	0.196	0.19	0.182	0.194	0.196	0.196	0.217	0.221	0.191	0.218	0.19	0.212	0.222	0.22

参考文献

[1] 石川欽也「転換期・21世紀への日本の原子力政策」電力新報社（1998）
[2] 株式会社三菱総合研究所「FBR実用化サイクルの総合評価システムの開発」(核燃料サイクル開発機構委託研究成果報告書 JNC TJ9400 2000-012)（2000）
[3] エネルギーフォーラム、2000年9月、p.32－37
[4] 落合、「消費地立地型小型軽水炉「PSRD」」、ENERGY、2000年10月
[5] 「ガスコージェネレーション導入事例集」、月刊クリーンエネルギー別冊、1999年
[6] 木下栄蔵編著「AHPの理論と実際」日科技連（2000）
[7] 小型安全炉序論第23回炉物理夏期セミナーテキスト，pp. 111-125，日本原子力学会（1991).
[8] 財団法人社会経済生産性本部「第11回エネルギーに関する世論調査　調査結果報告書（抜粋)」（1998）
[9] 財団法人社会経済生産性本部「原子力発電に関する有識者アンケート調査」（1997）
[10] 塩沢、「将来の革新的小型炉を目指して」、ENERGY、2000年10月
[11] 柴田鐵治、友清祐昭「原発国民世論－世論調査にみる原子力意識の変遷－」ERC出版（1999）
[12] 武田篤彦、菅原努「医療X線に誤解を与える文章に対する学生の反応」日本リスク研究学会第10回研究発表会論文集（1997）
[13] 田中豊「どうして原子力リスクは過大評価されるのか」エネルギーフォーラム 2000年3月（2000）
[14] 田中豊「原子力施設のリスク認知・ベネフィット認知と社会的受容」日本原子力学会誌 Vol.41, No.3 (1999)
[15] 田中豊「原子力発電所の社会的受容に及ぼすコミュニケーションの効果」電力中央研究所報告（1999）
[16] 田中豊「原子力発電所立地におけるリスク認知とベネフィット認知」日本リスク研究学会誌9（1997）
[17] 田中豊「高レベル放射性廃棄物地層処分場立地に社会的受容を決定する心理的要因」日本リスク研究学会誌10（1998）
[18] 田中豊「原子力施設立地に対する態度に関する研究」日本社会心理学会第39回大会発表論文集（1998）
[19] 田中豊「科学技術の社会的受容を決定する要因」実験社会心理学研究35（1995）
[20] 鳥居、「原子力の未来」、日本経済新聞社、1999年
[21] 中村雅彦、若林満、斎藤和志「原子力発電に対する公的受容の規定因に関する研究」日本社会心理学会第32回大会発表論文集（1991）
[22] 服部、「4S炉でアジア、地球の救済を」、ENERGY、2000年10月
[23] 早川、「地域冷暖房システム」井上書院、1992年
[24] 山地憲治編、原子力未来研究会著「どうする日本の原子力－21世紀への提言－」日刊

工業新聞社（1998）
[25] 傍島眞「原子力は何が問題か－人々が選択するエネルギーと環境－」ERC出版（1999
[26] Williams, D. H. "Educating American college students on issues associated with the isolation of radioactive wastes" Proceeding paper for high level radioactive waste management, 1 (1990)
[27] http://www.nef.or.jp/award/kako/h11/00syo05.htm
[28] http://www.khi.co.jp/khi_news/c3000712-1.htm
[29] http://www.nef.or.jp/award/kako/h11/00syo05.htm
[30] http://www.okiden.co.jp/news/981001_1a.html
[31] バーナード・L. コーエン、「私はなぜ原子力を選択するか」、ＥＲＣ出版、1994.
[32] 岡田、「科学技術の社会受容性とその過程」、日本原子力学会2000年秋の大会

以上

参考資料

多面的評価システム
説明書

版	日付	Package Ver.	Package Date	内容
初版	2000/10/09	0.9	2000/09/27	
1	2001/03/29	1.52	2001/03/29	
2	2001/04/05	1.6	2001/04/05	測定値読み込みの際に基準技術タイプを選択する。

－ 目　次 －

0. 概要 3
Ⅰ部 パッケージのインストール 3
1. 動作環境 3
2. インストール手順 3
3. パッケージの更新 3
Ⅱ部 パッケージの操作 4
4. メニューと操作の流れ 4
5. 測定値読み込み 5
6. 評価項目設定と樹形図 7
7. 多面的評価計算 16
8. 重み付き評価数値 17
9. 評価数値 17
10. 評価項目毎の数値 17
11. 棒グラフ 18
12. レーダーチャート 19
13. 信憑性 19
14. 計算結果の保存と復元 20
15. 計算結果のクリアー 21
Ⅲ部 パッケージの内容 22
16. テーブル構造 22
17. クエリ 24
18. フォーム 25
19. モジュール 26

0. 概要

このパッケージは以下の機能をもつソフトウェアです。

- 評価項目及び項目間の関係を設定する。
- 外部の定量値データを読み込む。
- 評価値を計算する。
- 評価値をテーブル及びグラフ形式で表示する。

I部 パッケージのインストール

1. 動作環境

このパッケージは以下の環境で動作します。

- CPU　Pentium II 300MHz 以上推奨
- Memory　64MB 以上推奨
- 画面解像度　1024×768 以上推奨
- HD　2MB 以上の空き領域が必要
- OS　Windows98/2000
- Software　MSAccess2000

2. インストール手順

配布されるインストール セットから Setup.exe を実行します。

次のファイルがインストールされます。

ファイル名	名 称	機 能
FBREval.mdb	本パッケージ	
msado21.dll	ActiveX Data Object 2.1	データ アクセス COM
Comdlg32.ocx	Common Dialog Control 6.0	コモン ダイアログ コントロール
Msadox.dll	ADO Extention 2.6	ADO 拡張 COM
graph9.olb	Graph 9.0 Object Lib.	グラフ オブジェクト ライブラリ

3. パッケージの更新

インストール手順によって本パッケージ及び各種コントロールをインストール済みの PC では、本パッケージのファイル FBREval.mdb の入れ替えによりパッケージの更新が可能です。

更新に伴うデータの移動

FBREval.mdb ファイルを置換するとデータはすべて失われます。データを新しい版のパッケージに引き継ぐには、新しい版を別ディレクトリに置いて、マニュアル操作によりデータを移行してください。

Ⅱ部 パッケージの操作

4. メニューと操作の流れ

パッケージ FBREval.mdb を開くと次のメイン メニューが表示されます。

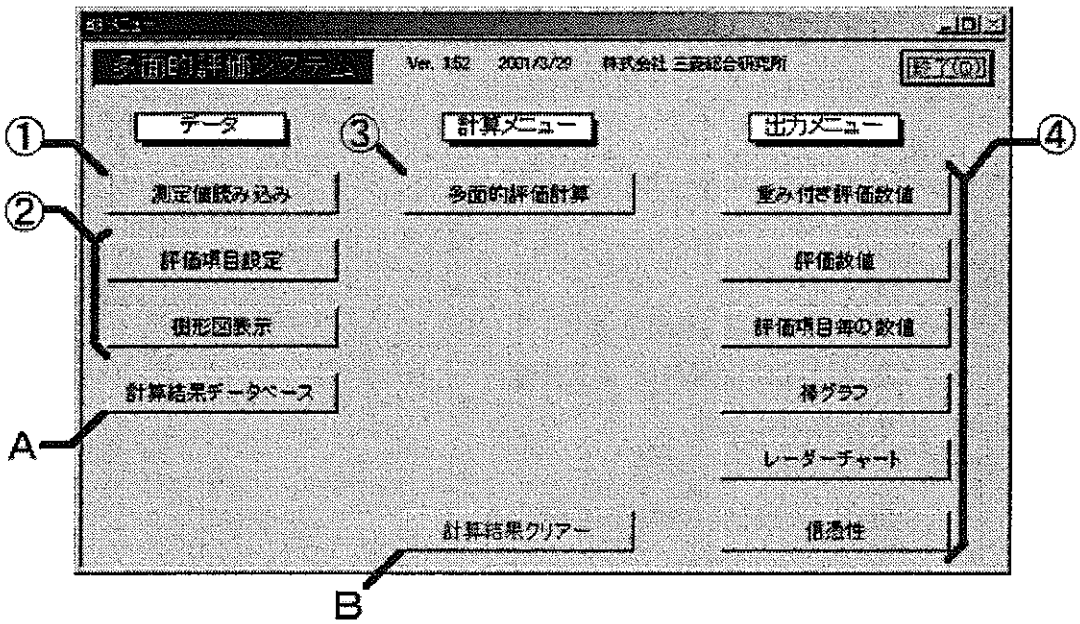


図 1: 画面 メイン メニュー

パッケージを使った処理は、およそ以下のように進みます。

1) 測定値読み込み
   外部の技術タイプ別測定値データを読み込みます。
2) 評価項目設定
   評価項目を設定します。
3) 多面的評価計算
   計算を実行します。
4) 出力表示
   計算結果を表示します。

その他に次の機能を選択できます。

A) 計算結果データベース[1]
   現在の評価項目や計算結果を保存、復元できます。
B) 計算結果クリアー[2]
   現在の計算結果をクリアーします。

---

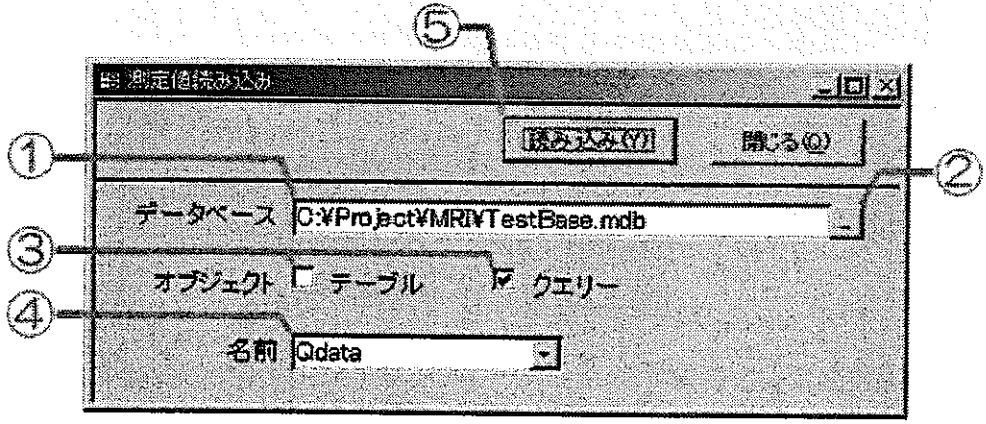
[1] Ver.1.52 で導入された機能です。
[2] Ver.1.52 で導入された機能です。

5. 測定値読み込み

測定値として読み込むことができるデータの仕様は以下の通りです。

・ファイル フォーマット　MSAccess95/97/2000 Jet データベース
・オブジェクト　テーブルまたはクエリ
・技術タイプ項目　技術タイプを示す文字列型フィールドを 1 つだけ持つ

測定値を読み込むには、メイン メニューで［測定値読み込み］をクリックします。操作手順は以下の通りです。



画面　ファイル及びオブジェクト選択

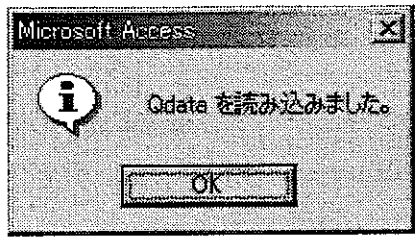
まず測定値を持つファイルとデータベース オブジェクトを選択します。

5) データベース ファイル指定
上図①の位置にデータベース名を入力します。参照ボタン②をクリックして、ダイアログを表示することもできます。

6) オブジェクト種別指定
オブジェクトの種別③を選択します。選択可能な種別はテーブル及びクエリです。

7) オブジェクト選択
オブジェクトを選択します。④には、①で選択したデータベースに含まれる、種別③のオブジェクト一覧が表示されます。

必要な項目を選択したら⑤の［読み込み(Y)］ボタンをクリックします。読み込み処理が正常に終了すると、次のメッセージ ボックスが表示されます。



［OK］ボタンをクリックして次に進みます。

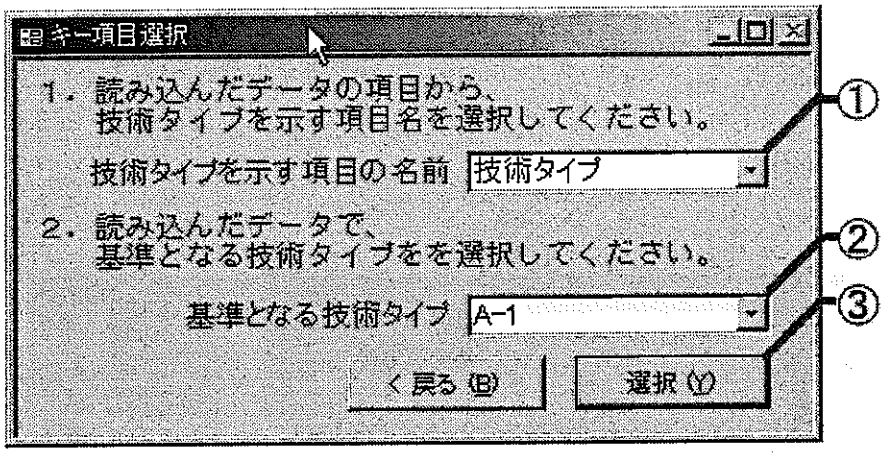


図 2　画面　キー項目選択

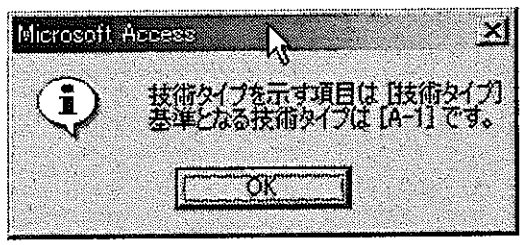
読み込んだ測定値データについて

① 技術タイプの名前を含むフィールド

② 基準となる技術タイプ[3]（オプション）

を選択します。①には測定値データに含まれるフィールド名の一覧が表示されます。また②には①で選んだフィールドに含まれる技術タイプの一覧が表示されます。基準となる技術タイプは、評価項目の絶対評価を行う画面で設定、変更することもできます。

フィールドを選択したら③［選択(Y)］をクリックします。



選択したフィールド名と技術タイプが表示されるので［OK］ボタンをクリックしてメイン メニューに戻ります。

[3] Ver.1.6 で加えられた変更です。

6. 評価項目設定と樹形図

評価項目

メイン メニューで［評価項目設定］をクリックすると、評価項目画面が表示されます。

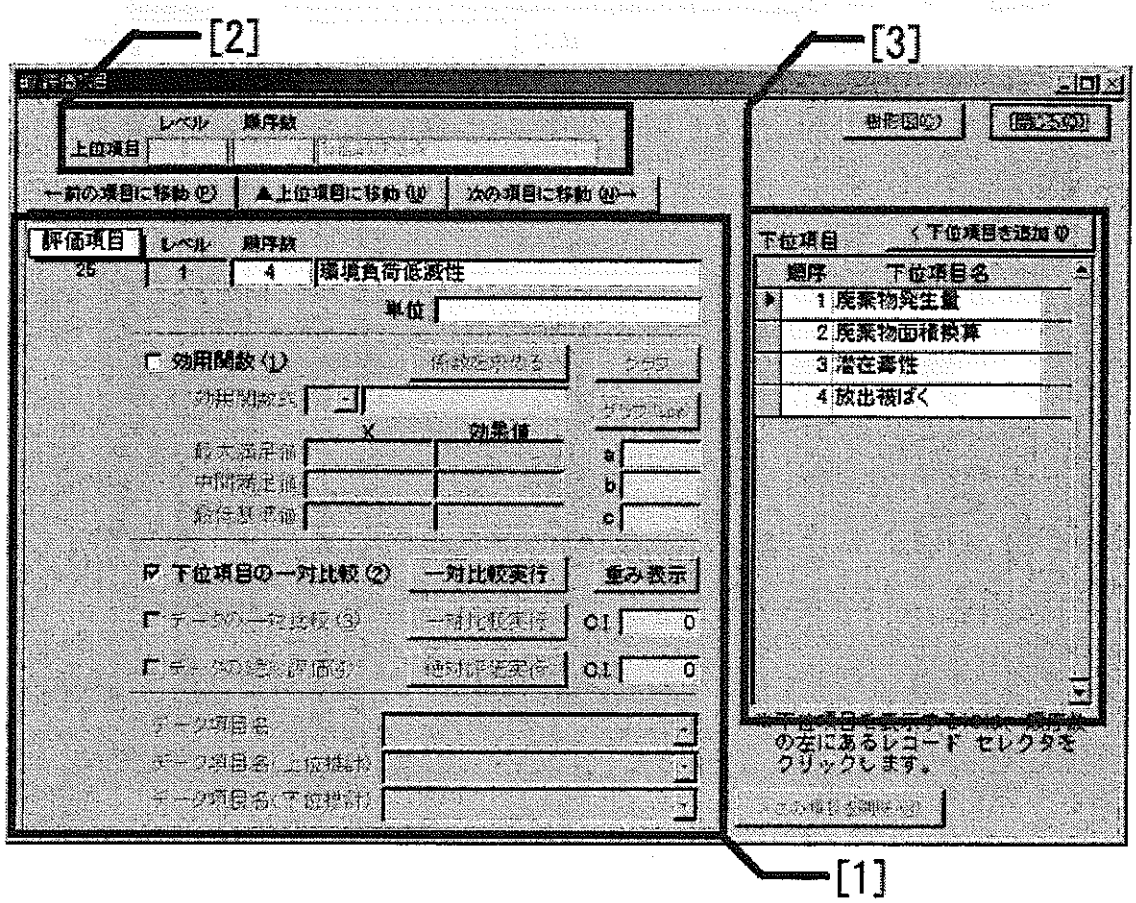


図 3　画面　評価項目

画面で「環境負荷低減性」のように [1] に表示される評価項目が現在着目している評価項目で、カレント レコードと呼びます。

評価項目画面に表示される項目は大きく以下の 3 つに分けられます。

[1] カレント レコードに関する情報

[2] カレント レコードの上位項目名

[3] カレント レコードの下位項目

評価項目の属性

評価項目は以下の属性を持ちます。

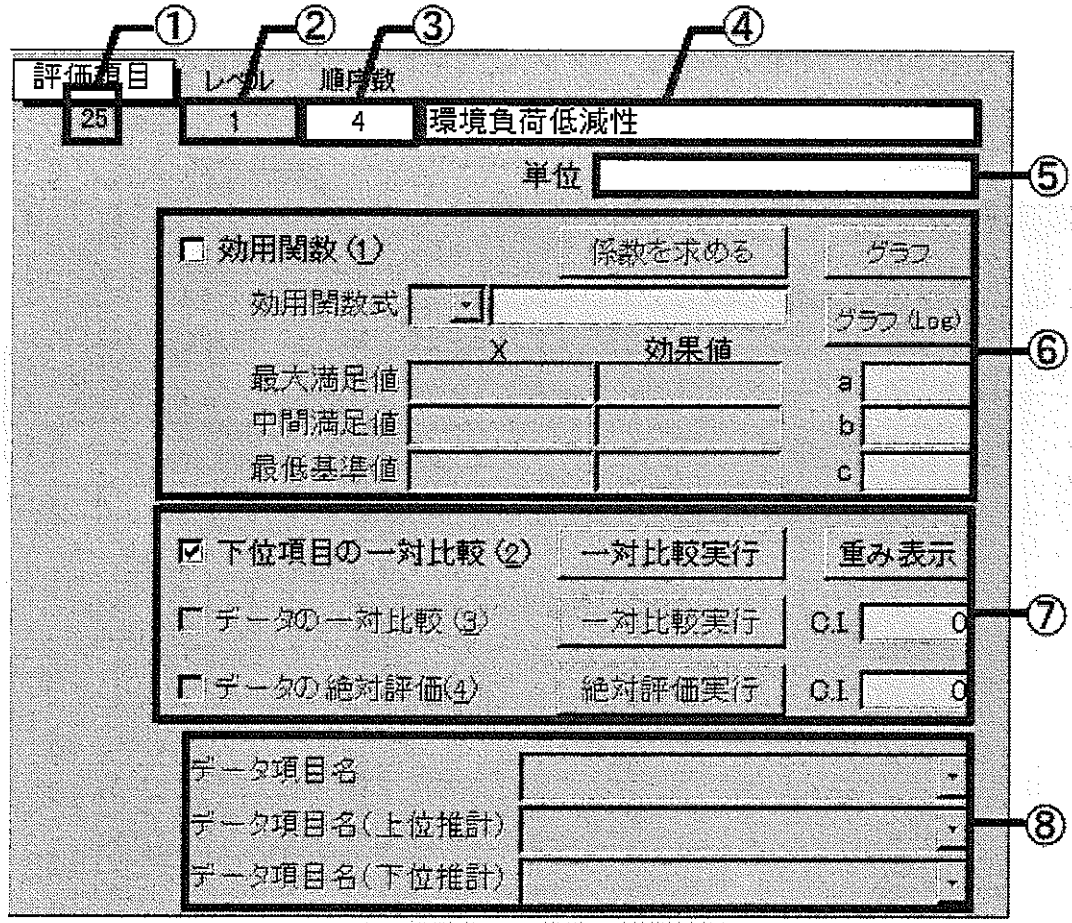


図 4 画面 評価項目の属性

① 評価項目番号

評価項目に自動的に割り当てられるユニークな ID 番号です。変更できません。

② レベル

最上位項目からの深さを示します。変更できません。

③ 順序数

同じ上位項目を持つ項目群内での順序を示す番号です。樹形図での表示順を決める番号です。評価計算には影響ありません。

④ 項目名

項目の名称です。他の項目との重複は許されません。

⑤ 単位

グラフに表示される単位です。

⑥ 効用関数

効用関数の設定、パラメータの計算を行います。

⑦ 一対比較・絶対比較

評価項目に自動的に割り当てられるユニークな ID 番号です。変更はできません。

⑧ データ項目名

測定値データに対応する定量項目があるとき、そのフィールド名を設定します。

評価項目画面のボタン

画面には項目間を移動するボタン等があります。

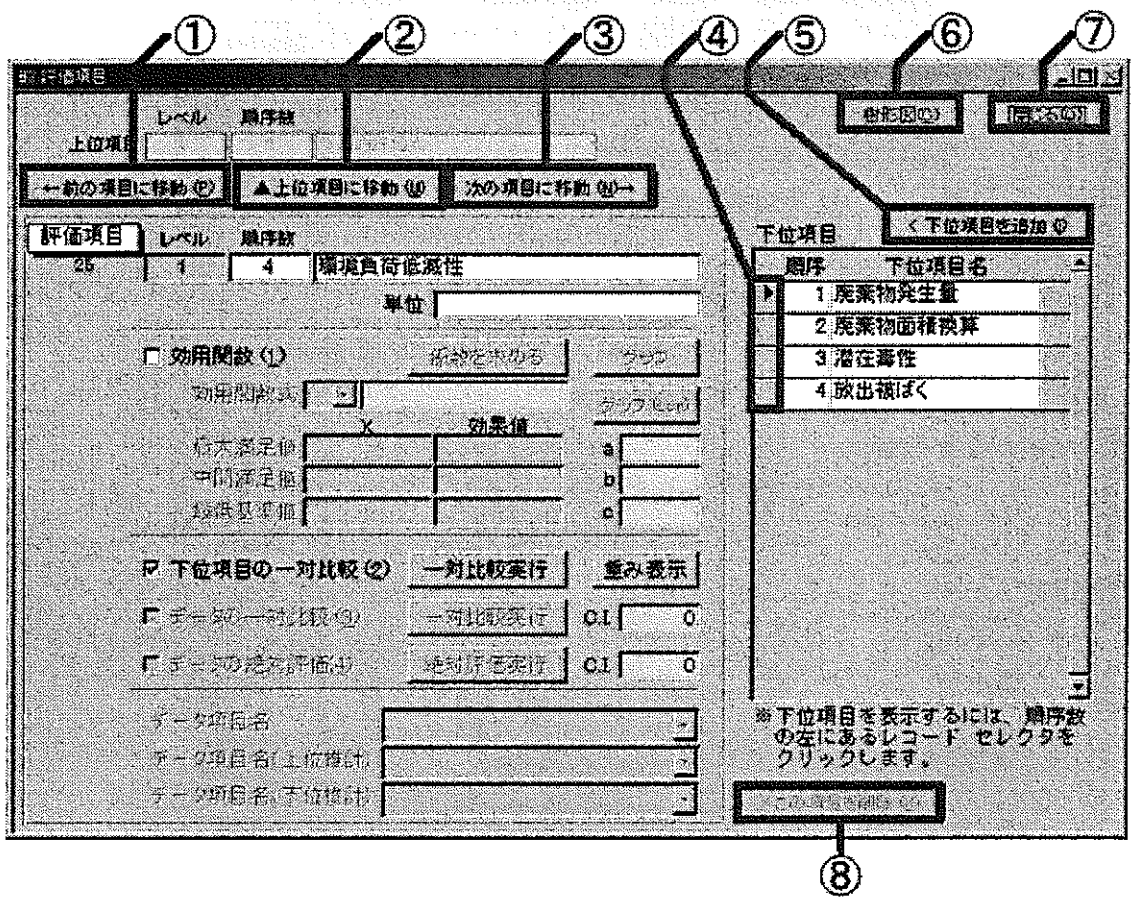


図 5 画面 評価項目（ボタン）

① 前の項目に移動

カレント レコードと同じ上位項目を持つ評価項目群のなかで、順序数が次に大きい評価項目をカレント レコードにします。

② 上位項目に移動

上位項目をカレント レコードにします。

③ 次の項目に移動

カレント レコードと同じ上位項目を持つ評価項目群のなかで、順序数が次に小さい評価項目をカレント レコードにします。

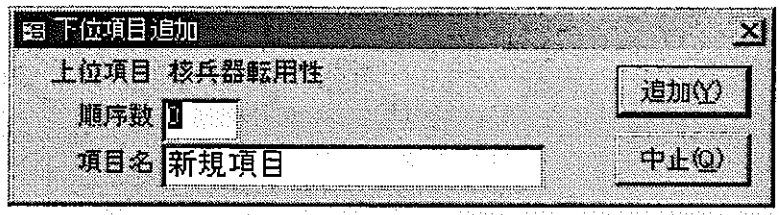
④ 下位項目に移動

レコード セレクタをクリックすると、選んだ下位項目がカレント レコードになります。

レコード セレクタは各下位項目で順序数欄の左にあるグレーの領域です。

⑤ 下位項目を追加

カレント レコードに下位項目を追加します。このボタンをクリックすると次のような画面が表示されます。



順序数と項目名を入力して［追加(Y)］ボタンをクリックすると項目が追加されます。

⑥ 樹形図を表示

この画面での変更を保存し樹形図を表示します。

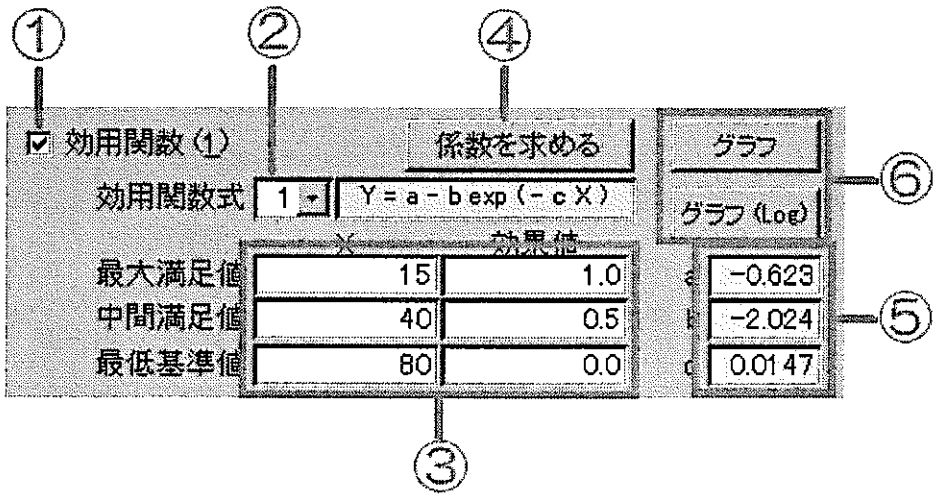
⑦ 画面を閉じる

画面を閉じてメイン メニューを表示します。

⑧ 現在の項目を削除

カレント レコードを下位項目も含めて削除します。

効用関数



評価項目に効用関数を設定するには、①のチェック ボックスをオンにします。さらに②で効用関数のタイプを選択します。

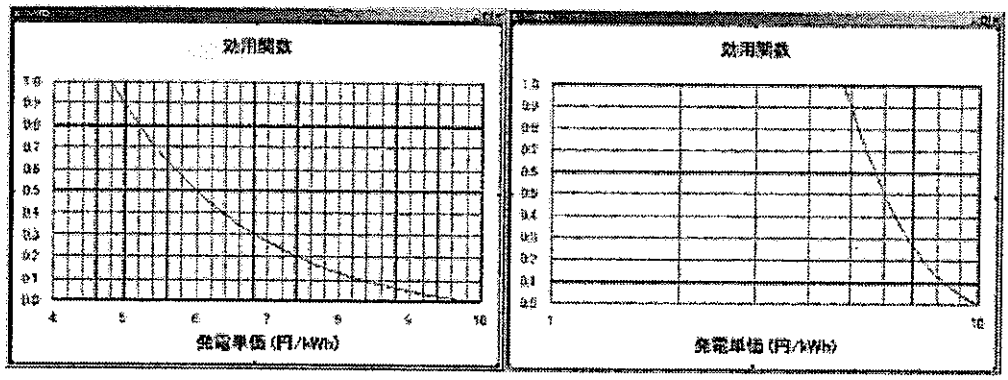
※ 現在利用可能な効用関数タイプは 1 のみです。

評価値の計算には効用関数の係数を定める必要があります。③の領域に値と対応する効果値（効用値）を入力した上で④のボタンをクリックします。係数が求まると⑤に係数の値が表示されます。

測定値と効果値（③）に入力する値は以下の通りです。

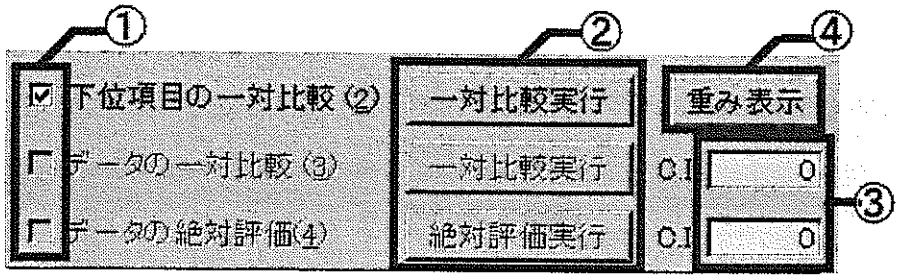
- ③の最大満足値にはもっとも効果が大きい値（計測値）と、そのときの効果値（効用値）を入力してください。効果値の最大は 1.0 です。
- 中間満足値には満足度が半分である計測値と、そのときの効果値を入力してください。効果値は通常 0.5 になります。
- 最低基準値にはもっとも効果が少ない計測値と、そのときの効果値を入力してください。効果値の最小は 0 です。

⑥のグラフ ボタンをクリックすると、効用関数グラフが表示されます。次にグラフの例を示します。



画面　効用関数グラフ

比較



比較には次の 3 通りのどれかを選択できます。

- 下位項目の一対比較
- データの一対比較
- データの絶対評価[4]

[4] Ver.1.52 で導入された機能です。

比較を行うには①のチェック ボックス（どれか）をオンにします。

比較には次の制限があります。

・ 「下位項目一対比較」を選択できるのは下位項目を持つ項目だけです。

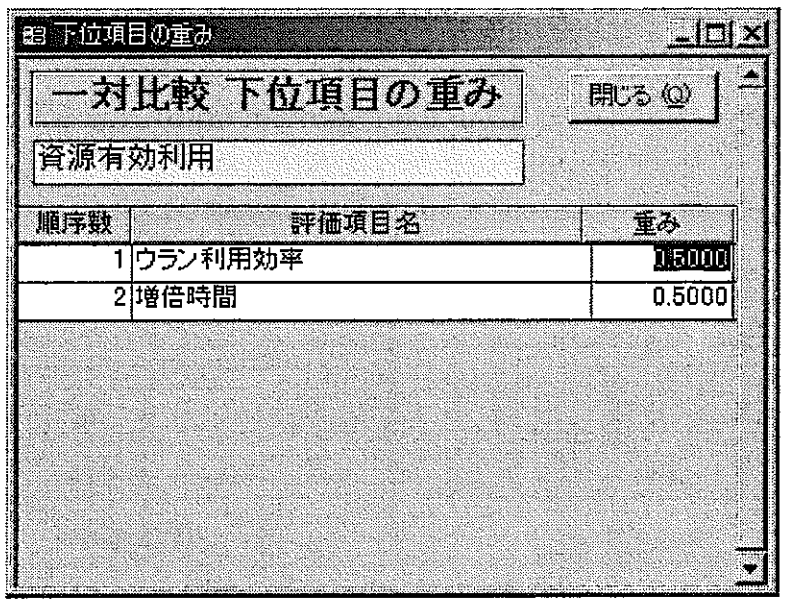
・ 「データの一対比較」を選択できるのは下位項目を持たない項目だけです。

・ 「データの絶対評価」を選択できるのは下位項目を持たない項目だけです。

次に②のボタンをクリックして表示される画面で較データの入力と重み計算を実行します。一対比較および絶対評価を行う画面は後で説明します。

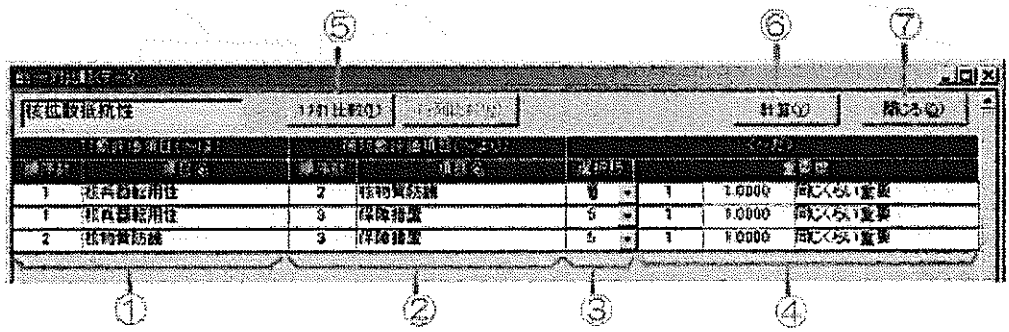
重み計算が完了すると③に C.I. （一貫性指標）値が表示されます。

項目毎の重みは④で参照更新できます。次の画面を参照してください。



画面　一対比較重み表示

一対比較の入力画面を次に示します。



画面　一対比較入力

評価項目画面で［一対比較実行］ボタンをクリックすることで、上の一対比較入力画面が表示されます。この画面は下位項目一対比較とデータ項目一対比較の両方に共通です。

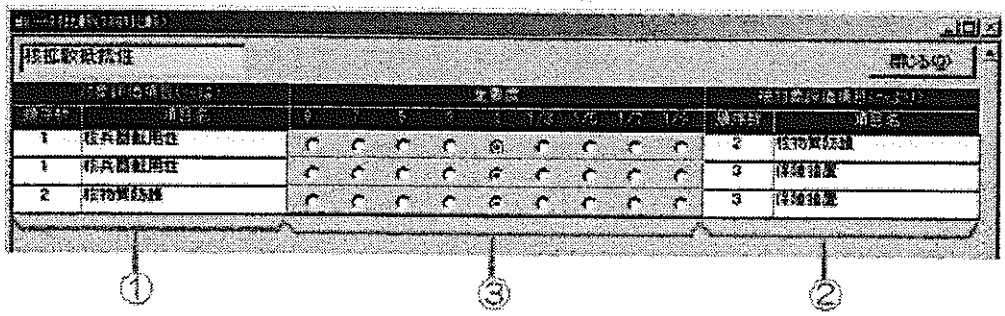
①に対象となる下位項目または技術タイプが、②に①と比較する下位項目または技術タイプが表示されます。③のリストボックスから該当する重要度を入力してください。④に選択した重要度が表示されます。

⑤の［1 対 1 比較］をクリックすると、異なった形式の画面から一対比較データを入力できます。1 対 1 比較については後で説明します。

⑥の［計算］をクリックすると下位項目や技術タイプ毎の重みと C.I.（一貫性指数）値を計算します。

⑦の［終了］をクリックすると、重みを計算**しない**で評価項目画面に戻ります。

一対比較入力画面で［1 対 1 比較］をクリックすると、1 対 1 一対比較入力画面が表示されます。



画面　1 対 1 一対比較入力

一つ前の一対比較入力画面と同様に、①に対象項目②に比較対象項目が表示されます。③のラジオボタンで重要度を選択してください。

［閉じる］ボタンをクリックすると、前の一対比較入力画面に戻ります。

次に絶対評価の入力画面を次に示します。

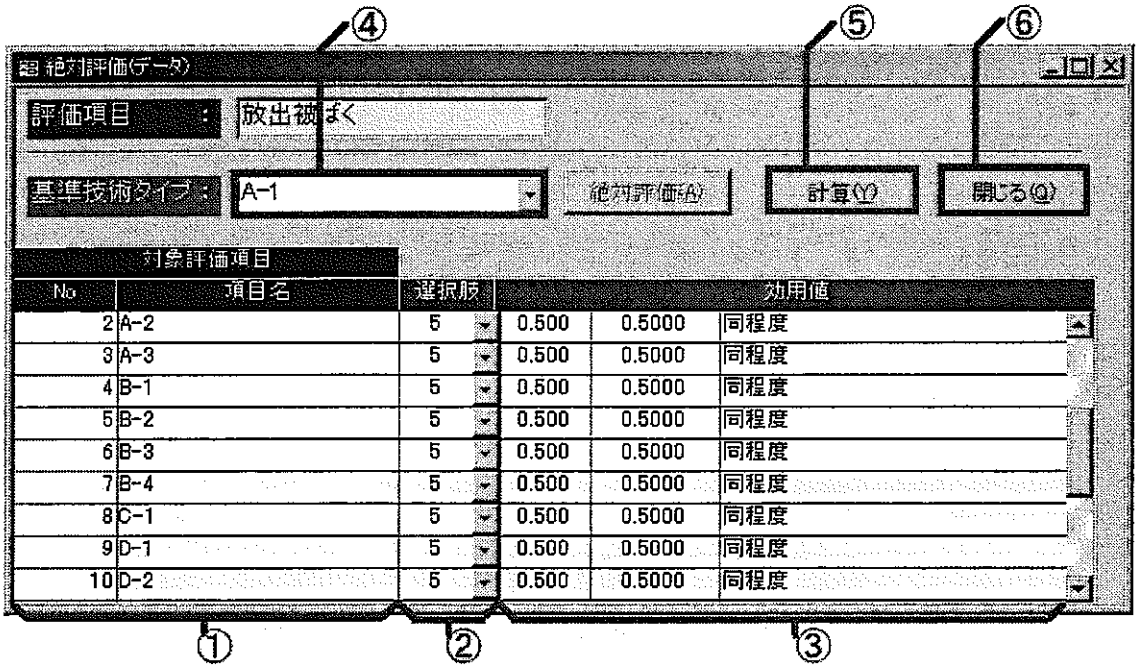


図 6　画面　絶対評価（データ）

最初に基準となる技術タイプを④で選択します。基準となる技術タイプは全ての絶対評価で同じである必要があります。

①に評価対象となる技術タイプが、②のリストボックスから該当する重要度を入力してください。③に選択した重要度が表示されます。

⑤の［計算］をクリックすると技術タイプ毎の重みを計算します。

⑥の［終了］をクリックすると、重みを計算**しない**で評価項目画面に戻ります。

樹形図

メイン メニューで［樹形図表示］をクリックするか、評価項目画面で［樹形図］ボタンをクリックすると、次のような樹形図が表示されます。

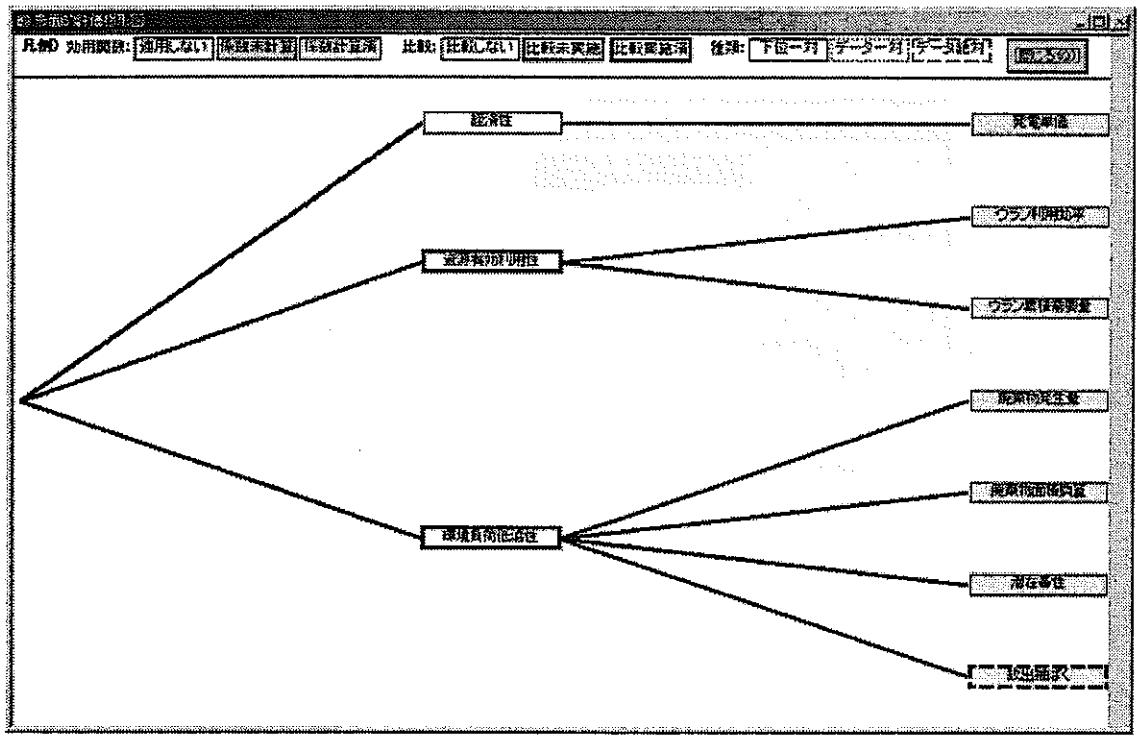


図 7　画面　樹形図

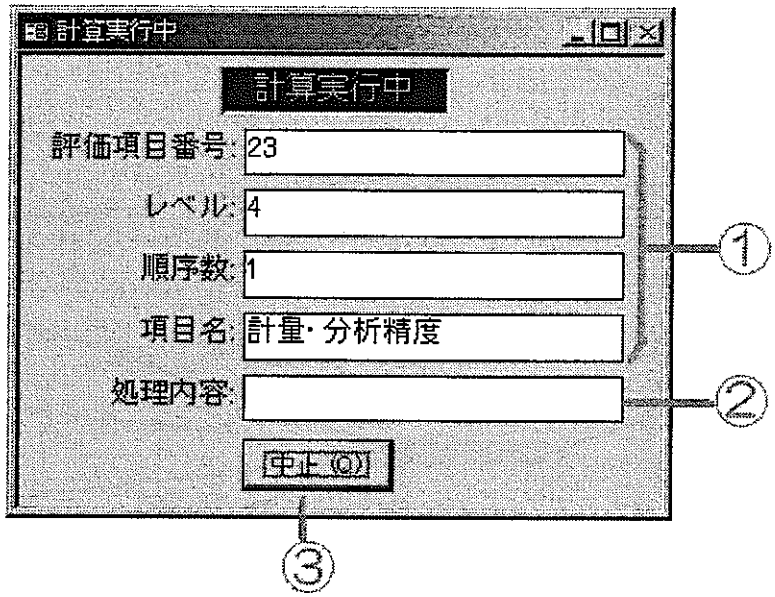
樹形図ではボックスが評価項目を、ボックスをつなぐ線がボックス間の上下関係を示します。ボックスの色の意味は以下の通りです。

ボックスの背景色	
ピンク	効用関数の適用項目で、係数が未計算
シアン	効用関数の適用項目で、係数が計算済み
白	効用関数を適用しない
ボックスの枠線色	
赤	一対比較または絶対評価項目で、重みが未計算
青	一対比較または絶対評価項目で、重みが計算済み
黒	一対比較または絶対評価しない
ボックスの枠線種	
実線	下位項目一対比較
細点線	データ一対比較
荒点線	データ絶対評価

樹形図でボックスをクリックすると、対応する評価項目画面が表示されます。

7. 多面的評価計算

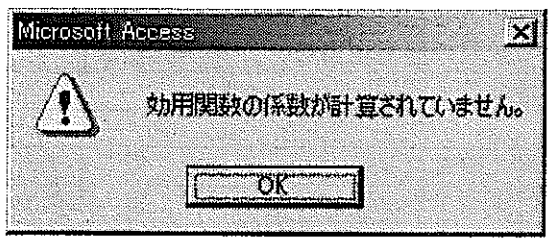
メイン メニューで［多面的評価計算］をクリックすると、読み込んだ測定値及び各評価項目の設定にしたがって、評価項目での評価値を計算します。計算処理中は以下の画面が表示されます。



画面　計算実行中

①に計算中の評価項目が表示されます。②には①の評価項目についての処理内容が表示されます。③の［中止］ボタンをクリックすると、計算を中止します。

計算中に問題を検出すると次のようなメッセージボックスが表示されます。

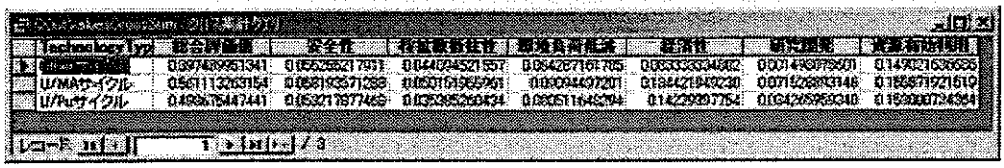


問題のあった評価項目と問題の内容を確認し［OK］をクリックします。その後、計算を中止するか、または最後まで計算を実行してから問題点を修正してください。

問題点が検出されるた評価項目は、すべての技術タイプについてゼロの評価値を持ちます。

8. 重み付き評価数値

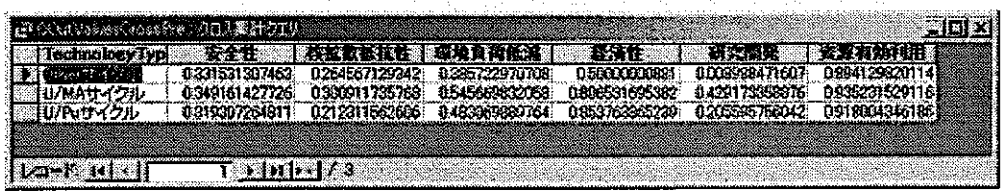
メイン メニューで［重み付き評価数値］をクリックすると、技術タイプ毎にレベル 1 評価項目の値と総合評価値が表示されます。



画面　重み付き評価数値

9. 評価数値

メイン メニューで［評価数値］をクリックすると、技術タイプ毎にレベル 1 評価項目の評価値が表示されます。ここで表示される数値はトップレベルの重み付けを行う前の値です。



画面　評価数値

10. 評価項目毎の数値

メイン メニューで［評価項目毎の数値］をクリックして、評価項目×技術タイプ毎の評価値を参照できます。この画面から評価値を変更することはできません。

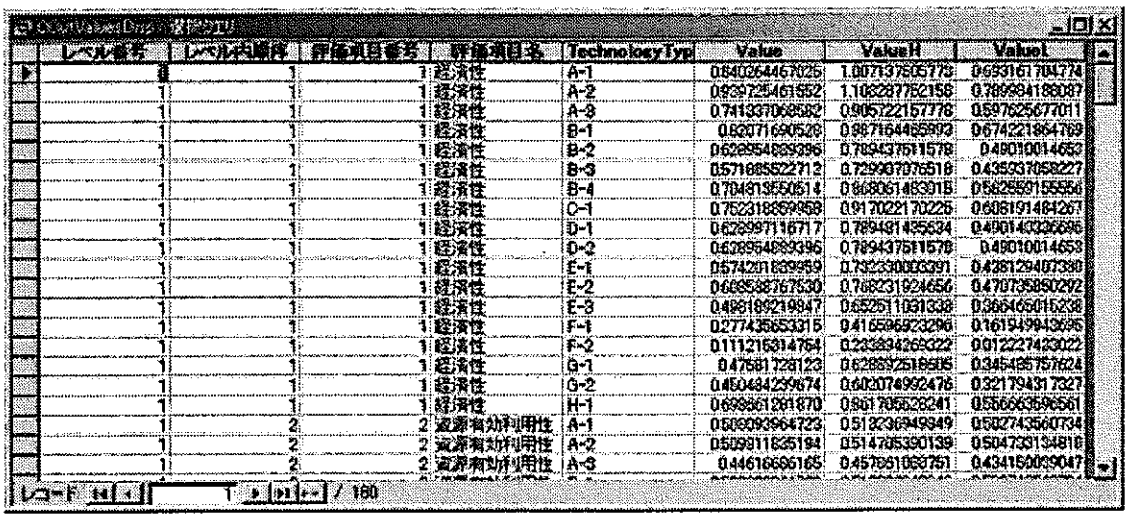
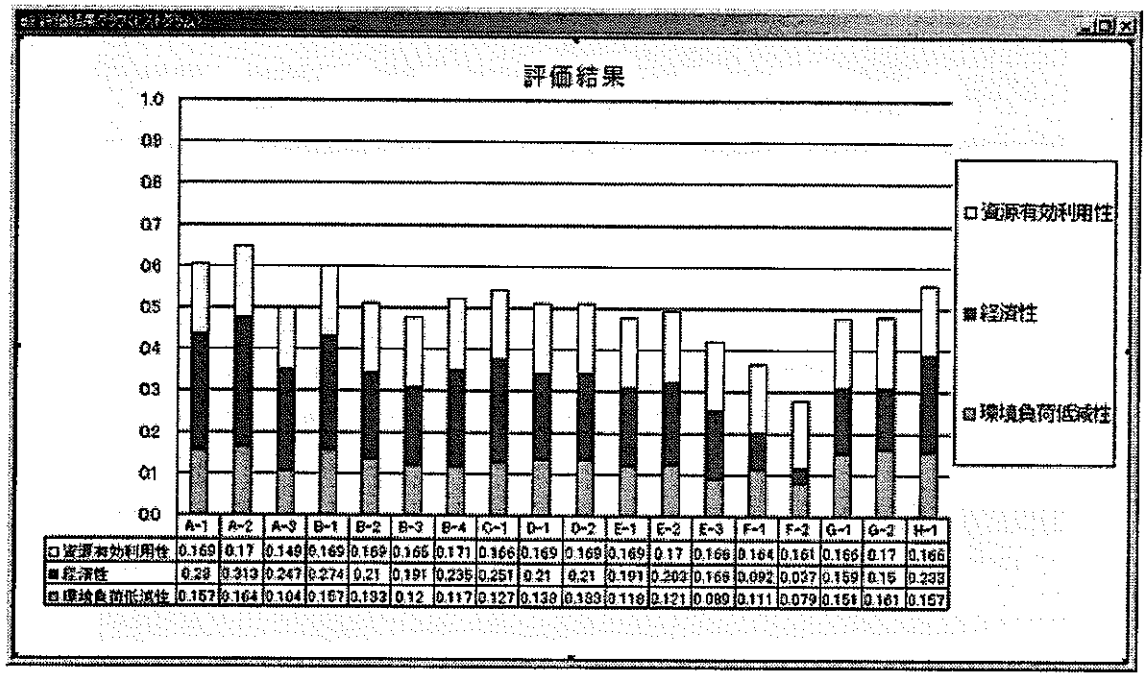


図 8　画面　評価項目毎の数値

11. 棒グラフ

メイン メニューで［棒グラフ］をクリックすると技術タイプ毎の評価結果グラフが表示されます。



	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	D-1	D-2	E-1	E-2	E-3	F-1	F-2	G-1	G-2	H-1
□資源有効利用性	0.169	0.17	0.149	0.169	0.169	0.165	0.171	0.166	0.169	0.169	0.169	0.17	0.166	0.164	0.161	0.166	0.17	0.166
■経済性	0.28	0.313	0.247	0.274	0.21	0.191	0.235	0.251	0.21	0.21	0.191	0.203	0.166	0.092	0.037	0.159	0.15	0.238
▨環境負荷低減性	0.157	0.164	0.104	0.167	0.193	0.12	0.117	0.127	0.138	0.133	0.116	0.121	0.089	0.111	0.079	0.151	0.161	0.157

図 9　画面　評価結果グラフ

12. レーダーチャート

メイン メニューで［レーダーチャート］をクリックすると技術タイプ毎のレーダーチャート[5]が表示されます。

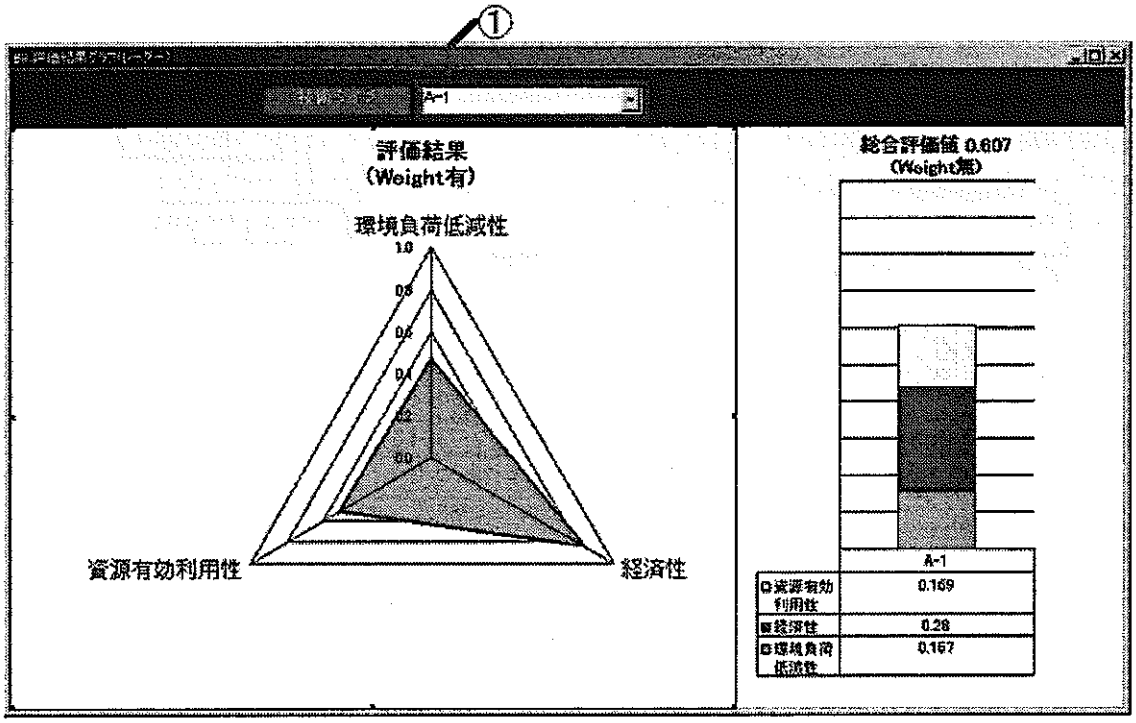


図 10 画面 レーダーチャート

表示する技術タイプを変更するには①で技術タイプを選択します。

13. 信憑性

信憑性[6]ボタンはトグルボタンで、クリックにより押された状態に、もう一度クリックすると元の状態に戻ります。信憑性ボタンが押された状態でメニューから［重み付き評価数値］および［評価数値］を選択すると、評価数値以外に上位及び下位推計値も表示されます。

[5] Ver.1.52 で追加された出力です。
[6] Ver.1.52 で追加された出力です。

14. 計算結果の保存と復元

計算結果の保存と復元[7]で、現在の評価項目設定や計算結果を保存したり、以前保存した内容を復元できます。メニューで［計算結果の保存と復元］をクリックすると、計算結果データベース画面が表示されます。

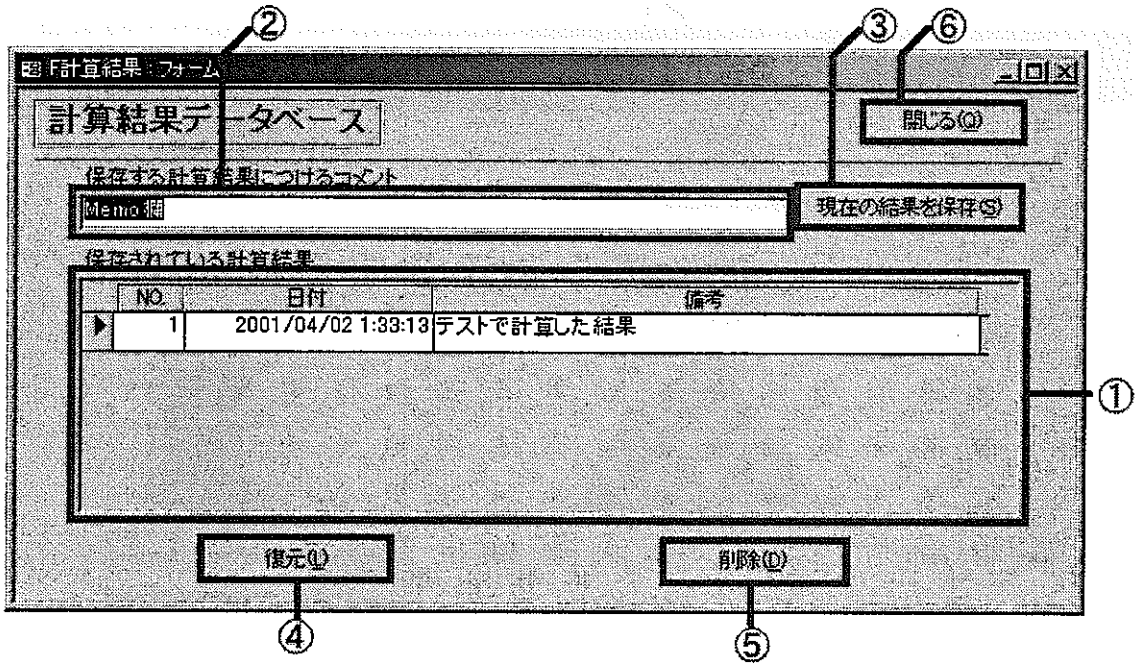


図 11　画面　計算結果データベース

①には保存されているデータの一覧が表示されます。

現在の評価項目設定と計算結果を保存するには、②にコメントを入力し、③の［現在の結果を保存］をクリックします。現在の日付と入力されたコメントが①に表示され、データが保存されたことがわかります。

保存されているデータを復元するには、①の一覧でレコードセレクタを選択し、④の［復元］をクリックします。

【注】復元すると現在の評価項目設定や計算結果は破棄されます。

保存されているデータを削除するには、①の一覧でレコードセレクタを選択し、⑤の［削除］をクリックします。

⑥の［閉じる］をクリックすると画面が閉じられます。

[7] Ver.1.52 で追加された機能です。

15. 計算結果のクリアー

計算結果のクリアー[8]は評価項目の設定を保存したままで、以下の処理を無効にします。

- 測定値読込
- 効用関数計数計算
- 一対比較および絶対比較
- 多面的評価計算

この機能は主にシステムメンテナンス効率を向上するために用意されています。通常の処理で用いられることはありません。

[8] Ver.1.52 で追加された機能です。

Ⅲ部 パッケージの内容

16. テーブル構造

本パッケージが持つテーブルの一覧を以下に示します。

テーブル名	内　容	導入バージョン
TSystem	パッケージの動作に必要な情報を持つ	
TItems	評価項目	
TImportance	一対比較重要度の選択肢	
TFuncTypes	効用関数の選択肢	
TImported	読み込んだ測定値	
TImportedFields	読み込んだ測定値のフィールド名	
TComp	一対比較結果	
TWeightItem	下位項目の重み（一対比較の結果）	
TWeightItemData	データ項目の重み（一対比較の結果）	
TFuncGraph1	効用関数グラフ描画用作業テーブル	
TResults	評価項目×技術タイプの計算結果	
TCompCopy	一対比較結果保存データ	1.52
TImportanceAbs	絶対比較重要度の選択肢	1.52
TIndex	保存データ管理情報	1.52
TItemsCopy	評価項目保存データ	1.52
TResutltsCopy	評価項目×技術タイプの計算結果保存データ	1.52
TWeightItemCopy	下位項目の重み（一対比較の結果）保存データ	1.52
TweightItemDataCopy	データ項目の重み（一対比較の結果）保存データ	1.52

評価項目テーブルの項目を以下に示します。

項 目 名	型	長さ	説 明
ItemNo	オートナンバー	4	パッケージ内部で評価項目を一意に識別する項目番号
LevelNo	整数	1	トップレベルからの深さ
LevelSeq	整数	1	同じ上位項目を持つ項目群内での順序
ItemName	文字列	64	評価項目名
Unit	文字列	64	単位
UpperItemNo	整数	4	上位項目の項目番号 レベル 1 評価項目ではゼロ
IsFunc	ブール	1	効用関数適用項目では True
IsComp	ブール	1	下位項目一対比較項目で True
IsCompData	ブール	1	データー対比較項目で True
IsCompDataAbsolute	ブール	1	データ絶対評価項目で True <1.52>
FunctionNo	整数	1	効用関数の種類
Sample○○	浮動小数点数	8	効用関数係数を求めるサンプル値 項目値と対応する効果（効用）値
Func○	浮動小数点数	8	効用関数の係数
CIValue	浮動小数点数	8	一貫性指数値
RemoteDataFieldName ～UBand ～LBand	文字列	64	測定値データのフィールド名 定量項目のみ ～UBand 上位推計値 <1.52> ～LBand 下位推計値 <1.52>
ChartHeight	整数	4	樹形図描画用
ChartBoxNo	整数	4	樹形図描画用
~~TechnicalTypeAbsolute~~	~~文字列~~	~~50~~	~~絶対評価基準技術タイプ名 <1.52>~~ 1.6 で削除

※最上位項目は評価項目レコードを持ちません。

17. クエリ

本パッケージが持つクエリの一覧を以下に示します。

クエリ名	内容
QItems	レベル、順序数順の評価項目
QImported	技術タイプ順の測定値
QComp	項目番号、評価対象、比較対象順の一対比較結果
QWeightItem	下位項目の重み
QResult	計算結果
QOutValue○○	表示用計算結果

18. フォーム

本パッケージが持つフォームの一覧を以下に示します。

フォーム名	説　明	導入 バージョン
FMenu	メイン メニュー	
F インポート	測定値読み込み	
F キー項目選択	測定値データ技術タイプ項目選択	
FChart	樹形図	
F 評価項目	評価項目	
F 評価項目 Sub	評価項目下位項目	
F 下位項目追加	下位項目追加	
F 効用関数グラフリニア	効用関数グラフ	
F 効用関数グラフログ	効用関数グラフ（X 軸対数）	
F データ重み	技術タイプ別重み参照更新	
F 下位項目重み	下位項目重み参照更新	
F 一対比較	一対比較	
F 一対比較_1	1 対 1 一対比較	
F 計算実行中	計算実行中表示	
FOut 評価結果グラフ	評価結果グラフ　ヒストグラム	
FOut 評価結果グラフ （レーダー）	評価結果グラフ　レーダーチャート	1.52
F 管理テーブル Sub	計算結果データベース一覧表示サブフォーム	1.52
F 計算結果	計算結果データベース	1.52
F 絶対評価	絶対評価	1.52
~~F 絶対評価 Sub~~	~~絶対評価技術タイプ一覧表示サブフォーム~~	1.52 1.6 で削除

19. モジュール

本パッケージが持つモジュールの一覧を以下に示します。

モジュール名	説　明
pUtility	パッケージ内で利用される汎用のプロシジャ
pDatabase	データベース アクセス プロシジャ
pFunc	関数係数計算
pBalance	行列の固有値及び固有ベクトル計算
pCompute	評価値計算
pClear	計算結果クリアー <1.52>

以上